



# PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

• Formação Básica para Engenheiros •

Liedi Bariani Bernucci  
Laura Maria Goretti da Motta  
Jorge Augusto Pereira Ceratti  
Jorge Barbosa Soares

## Currículo resumido dos professores do PROASFALTO:



### Laura Maria Goretti da Motta

Engenheira Civil (1976), pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Mestre em Engenharia Civil (1979), pela Coordenação dos Programas de Pós-graduação em Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e Doutora pela COPPE/UFRJ, 1991. Professora Adjunta do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ desde 1984. Coordena desde 1994 o Setor de Pavimentos do Laboratório de Geotecnia da COPPE. É membro da Comissão de Asfaltos do Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás. Possui diversos trabalhos publicados no Brasil e exterior. Já orientou mais de 50 mestres e doutores. Já atuou em mais de 40 projetos de cooperação com empresas e órgãos do setor de pavimentação.



### Liedi Bariani Bernucci

Engenheira Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (1981), especialização no Instituto de Geotécnica da Escola Politécnica Federal de Zurique na Suíça (1984 e 1985), Mestre em Engenharia de Solos pelo Departamento de Estruturas e Geotécnica da EPUSP (1987), estágio de Doutorado pelo Instituto de Geotécnica da Escola Politécnica Federal de Zurique, na Suíça (1987 e 1988), Doutora em Engenharia de Transportes pelo Departamento de Engenharia de Transportes da EPUSP (1995), Livre-Docente em Engenharia de Transportes pela EPUSP (2001). Professora Titular no Departamento de Engenharia de Transportes da EPUSP, Coordenadora do Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da EPUSP e Chefe do Departamento de Engenharia de Transportes da EPUSP, atua como docente em graduação e pós-graduação, como coordenadora de diversos projetos de pesquisa e extensão. É membro da Comissão de Asfaltos do Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás. É consultora em pavimentação, possui diversas publicações e já formou diversos mestres e doutores em Transportes.



### Jorge Barbosa Soares

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (1992). Mestre (1994) e Ph.D. (1997) em Engenharia Civil pela Texas A&M University. Coordenador da Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da UFC. Coordenador do Laboratório de Mecânica dos Pavimentos da UFC e da REDE ASFALTO N/NE. Professor Associado do Departamento de Engenharia de Transportes da UFC, atua como docente em graduação e pós-graduação e na coordenação de projetos de pesquisa e capacitação junto a agências de fomento, empresas e órgãos do setor de pavimentação. É membro da Comissão de Asfaltos do Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás. Atua também como consultor e possui diversas publicações nos principais periódicos e congressos técnico/científicos nacionais e internacionais na área de pavimentação.



### Jorge Augusto Pereira Ceratti

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 1976, Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 1979. Doutor em Engenharia Civil pela Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), 1991. Professor Associado no Departamento de Engenharia Civil da UFRGS, onde atua como docente em graduação e pós-graduação, tendo formado, desde 1981, diversos mestres e doutores em Engenharia Civil. Coordenador do Laboratório de Pavimentação da UFRGS. É membro da Comissão de Asfaltos do Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás. Atua como consultor em pavimentação, desenvolvendo projetos de cooperação com empresas e órgãos do setor de pavimentação. Possui diversas publicações nos principais periódicos e congressos técnico/científicos, nacionais e internacionais, na área de pavimentação.

# Pavimentação asfáltica

## Formação básica para engenheiros

Liedi Bariani Bernucci

Laura Maria Goretti da Motta

Jorge Augusto Pereira Ceratti

Jorge Barbosa Soares

Rio de Janeiro

2008



ASFALTOS



## PATROCINADORES

Petrobras – Petróleo Brasileiro S. A.

Petrobras Distribuidora

Abeda – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos

Copyright © 2007 Liedi Bariani Bernucci, Laura Maria Goretti da Motta,

Jorge Augusto Pereira Ceratti e Jorge Barbosa Soares

## COORDENAÇÃO DE PRODUÇÃO

Trama Criações de Arte

## PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Anita Slade

Sonia Goulart

## DESENHOS

Rogério Corrêa Alves

## REVISÃO DE TEXTO

Mariflor Rocha

## CAPA

Clube de Idéias

## IMPRESSÃO

Gráfica Imprinta

Ficha catalográfica elaborada pela Petrobras / Biblioteca dos Serviços Compartilhados

---

P338 Pavimentação asfáltica : formação básica para engenheiros / Liedi Bariani Bernucci... [et al.]. – Rio de Janeiro : PETROBRAS: ABEDA, 2006.  
504 f. : il.

Inclui Bibliografias.  
Patrocínio PETROBRAS

1. Asfalto. 2. Pavimentação. 3. Revestimento asfáltico. 4. Mistura.  
I. Bernucci, Liedi Bariani. II. Motta, Laura Maria Goretti da. III. Ceratti, Jorge Augusto Pereira. IV. Soares, Jorge Barbosa.

---

CDD 625.85

# APRESENTAÇÃO

Tendo em vista a necessidade premente de melhoria da qualidade das rodovias brasileiras e a importância da ampliação da infra-estrutura de transportes, a Petróleo Brasileiro S.A., a Petrobras Distribuidora S.A. e a Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos – Abeda vêm investindo no desenvolvimento de novos produtos asfálticos e de modernas técnicas de pavimentação. Para efetivamente aplicar estes novos materiais e a recente tecnologia, é preciso promover a capacitação de recursos humanos.

Assim, essas empresas, unidas em um empreendimento inovador, conceberam uma ação para contribuir na formação de engenheiros civis na área de pavimentação: o Proasfalto – Programa Asfalto na Universidade. Este projeto arrojado foi criado para disponibilizar material didático para aulas de graduação de pavimentação visando oferecer sólidos conceitos teóricos e uma visão prática da tecnologia asfáltica.

Para a elaboração do projeto didático, foram convidados quatro professores de renomadas instituições de ensino superior do Brasil. Iniciou-se então o projeto que, após excelente trabalho dos professores Liedi Bariani Bernucci, da Universidade de São Paulo, Laura Maria Goretti da Motta, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Jorge Augusto Pereira Ceratti, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e Jorge Barbosa Soares, da Universidade Federal do Ceará, resultou no lançamento deste importante documento.

O livro *Pavimentação Asfáltica* descreve os materiais usados em pavimentação e suas propriedades, além de apresentar as técnicas de execução, de avaliação e de restauração de pavimentação. A forma clara e didática como o livro apresenta o tema o transforma em uma excelente referência sobre pavimentação e permite que ele atenda às necessidades tanto dos iniciantes no assunto quanto dos que já atuam na área.

A Universidade Petrobras, co-editora do livro *Pavimentação Asfáltica*, sente-se honrada em participar deste projeto e cumprimenta os autores pela importante iniciativa de estabelecer uma bibliografia de consulta permanente sobre o tema.

Petróleo Brasileiro S.A. – Petrobras

Petrobras Distribuidora S.A. – Asfaltos

Abeda – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos



ASFALTOS



# SUMÁRIO

PREFÁCIO	7
<b>1 Introdução</b>	<b>9</b>
1.1 PAVIMENTO DO PONTO DE VISTA ESTRUTURAL E FUNCIONAL	9
1.2 UM BREVE HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO	11
1.3 SITUAÇÃO ATUAL DA PAVIMENTAÇÃO NO BRASIL	20
1.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	24
<b>2 Ligantes asfálticos</b>	<b>25</b>
2.1 INTRODUÇÃO	25
2.2 ASFALTO	26
2.3 ESPECIFICAÇÕES BRASILEIRAS	58
2.4 ASFALTO MODIFICADO POR POLÍMERO	59
2.5 EMULSÃO ASFÁLTICA	81
2.6 ASFALTO DILUÍDO	96
2.7 ASFALTO-ESPUMA	97
2.8 AGENTES REJUVENESCEDORES	99
2.9 O PROGRAMA SHRP	100
BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	110
<b>3 Agregados</b>	<b>115</b>
3.1 INTRODUÇÃO	115
3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS AGREGADOS	116
3.3 PRODUÇÃO DE AGREGADOS BRITADOS	124
3.4 CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS IMPORTANTES DOS AGREGADOS PARA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA	129
3.5 CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS SEGUNDO O SHRP	150
BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	154

<b>4</b>	<b>Tipos de revestimentos asfálticos</b>	<b>157</b>
4.1	INTRODUÇÃO	157
4.2	MISTURAS USINADAS	158
4.3	MISTURAS <i>IN SITU</i> EM USINAS MÓVEIS	185
4.4	MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS	188
4.5	TRATAMENTOS SUPERFICIAIS	191
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	200
<b>5</b>	<b>Dosagem de diferentes tipos de revestimento</b>	<b>205</b>
5.1	INTRODUÇÃO	205
5.2	DEFINIÇÕES DE MASSAS ESPECÍFICAS PARA MISTURAS ASFÁLTICAS	207
5.3	MISTURAS ASFÁLTICAS A QUENTE	217
5.4	DOSAGEM DE MISTURAS A FRIO	253
5.5	MISTURAS RECICLADAS A QUENTE	256
5.6	TRATAMENTO SUPERFICIAL	263
5.7	MICRORREVESTIMENTO E LAMA ASFÁLTICA	269
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	281
<b>6</b>	<b>Propriedades mecânicas das misturas asfálticas</b>	<b>287</b>
6.1	INTRODUÇÃO	287
6.2	ENSAIOS CONVENCIONAIS	288
6.3	ENSAIOS DE MÓDULO	290
6.4	ENSAIOS DE RUPTURA	308
6.5	ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO PERMANENTE	316
6.6	ENSAIOS COMPLEMENTARES	327
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	332
<b>7</b>	<b>Materiais e estruturas de pavimentos asfálticos</b>	<b>337</b>
7.1	INTRODUÇÃO	337
7.2	PROPRIEDADES DOS MATERIAIS DE BASE, SUB-BASE E REFORÇO DO SUBLEITO	339
7.3	MATERIAIS DE BASE, SUB-BASE E REFORÇO DO SUBLEITO	352
7.4	ALGUMAS ESTRUTURAS TÍPICAS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS	365
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	369
<b>8</b>	<b>Técnicas executivas de revestimentos asfálticos</b>	<b>373</b>
8.1	INTRODUÇÃO	373
8.2	USINAS ASFÁLTICAS	373

8.3	TRANSPORTE E LANÇAMENTO DE MISTURAS ASFÁLTICAS	384
8.4	COMPACTAÇÃO	389
8.5	EXECUÇÃO DE TRATAMENTOS SUPERFICIAIS POR PENETRAÇÃO	393
8.6	EXECUÇÃO DE LAMAS E MICRORREVESTIMENTOS ASFÁLTICOS	397
8.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	401
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	402
<b>9</b>	<b>Diagnóstico de defeitos, avaliação funcional e de aderência</b>	<b>403</b>
9.1	INTRODUÇÃO	403
9.2	SERVENTIA	405
9.3	IRREGULARIDADE LONGITUDINAL	407
9.4	DEFEITOS DE SUPERFÍCIE	413
9.5	AVALIAÇÃO OBJETIVA DE SUPERFÍCIE PELA DETERMINAÇÃO DO IGG	424
9.6	AVALIAÇÃO DE ADERÊNCIA EM PISTAS MOLHADAS	429
9.7	AVALIAÇÃO DE RUÍDO PROVOCADO PELO TRÁFEGO	435
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	438
<b>10</b>	<b>Avaliação estrutural de pavimentos asfálticos</b>	<b>441</b>
10.1	INTRODUÇÃO	441
10.2	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO ESTRUTURAL	443
10.3	EQUIPAMENTOS DE AVALIAÇÃO ESTRUTURAL NÃO-DESTRUTIVA	445
10.4	NOÇÕES DE RETROANÁLISE	453
10.5	SIMULADORES DE TRÁFEGO	457
10.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	460
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	461
<b>11</b>	<b>Técnicas de restauração asfáltica</b>	<b>463</b>
11.1	INTRODUÇÃO	463
11.2	TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS COM PROBLEMAS FUNCIONAIS	466
11.3	TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS COM PROBLEMAS ESTRUTURAIS	468
11.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE O TRINCAMENTO POR REFLEXÃO	469
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	475
	ÍNDICE DE FIGURAS	477
	ÍNDICE DE TABELAS	486
	ÍNDICE REMISSIVO DE TERMOS	490
	ÍNDICE REMISSIVO DAS BIBLIOGRAFIAS	496

## PREFÁCIO

Este livro tem por objetivo principal contribuir para a formação do aluno na área de pavimentação asfáltica, dos cursos de Engenharia Civil de universidades e faculdades do país. O projeto deste livro integra o Programa Asfalto na Universidade, concebido em conjunto com a Petrobras e a Abeda, nossos parceiros e patrocinadores, para apoiar o ensino de graduação, disponibilizando material bibliográfico adicional aos estudantes e aos docentes de disciplinas de infra-estrutura de transportes. Os autores acreditam que seu conteúdo possa ser também útil a engenheiros e a técnicos da área de pavimentação e, no aspecto de organização do conhecimento, a pós-graduandos.

A elaboração deste livro em muito assemelha-se à construção de uma estrada, e os autores o vêem como mais uma via na incessante busca de novos horizontes. Estradas preexistentes influenciam o traçado de novas rodovias, assim como a preexistência de diversos materiais bibliográficos contribuiu para o projeto deste livro. Os autores procuraram ao máximo trafegar por diversas referências, devidamente reconhecidas no texto, e estão cientes de que muitos outros caminhos precisam ser percorridos para uma viagem mais plena.

Como em qualquer projeto de engenharia, decisões foram tomadas com vistas à delimitação do trabalho. Foram enfocados tópicos julgados menos disponíveis na literatura técnica brasileira sobre materiais de pavimentação – principalmente no que se refere aos ligantes asfálticos e aos tipos e propriedades das misturas asfálticas –, técnicas executivas e de avaliação de desempenho, bem como as diretrizes para a restauração asfáltica de pavimentos. Esses assuntos foram considerados pelos autores de grande valia para a construção do conhecimento sobre pavimentação na academia. Os autores reconhecem a limitação do escopo deste livro e recomendam fortemente que os estudantes busquem bibliografia complementar que enriqueça seus conhecimentos, enveredando também pelos caminhos do projeto de dimensionamento das estruturas de pavimentos e de restaurações, da mecânica dos pavimentos, da geotecnia, do projeto de tráfego e de drenagem, das técnicas de controle tecnológico, da gerência de pavimentos etc. Todas essas áreas do saber afins à pavimentação dão embasamentos aos conceitos necessários para termos pavimentos rodoviários, aeroportuários e urbanos mais econômicos, com melhor desempenho e mais duráveis para cada situação.

Como toda obra de pavimentação, não faltou neste caso a consultoria e o controle de qualidade, exercidos com competência e elegância pelos colegas aqui reconhecidos por seus valiosos comentários e sugestões: Dra. Leni Figueiredo Mathias Leite

(Centro de Pesquisa da Petrobras), Eng. Ilonir Antonio Tonial (Petrobras Distribuidora), Eng. Armando Morilha Júnior (Abeda), Prof. Dr. Glauco Túlio Pessa Fabbri (Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo), Prof. Sérgio Armando de Sá e Benevides (Universidade Federal do Ceará) e Prof. Álvaro Vieira (Instituto Militar de Engenharia).

A experiência de escrever este livro a oito mãos foi deveras enriquecedora, construindo-o em camadas, com materiais convencionais e alternativos, cuidadosamente analisados, compatibilizando-se sempre as espessuras das camadas e a qualidade dos materiais. No livro, competências e disponibilidades de tempo foram devidamente dosadas entre os quatro autores. Um elemento presente foi o uso de textos anteriormente escritos pelos quatro autores em co-autoria com seus respectivos alunos e colegas de trabalho, sendo estes devidamente referenciados.

Por fim, tal qual uma estrada, por melhor que tenha sido o projeto e a execução, esta obra está sujeita a falhas, e o olhar atento dos pares ajudará a realizar a manutenção no momento apropriado. O avanço do conhecimento na fascinante área de pavimentação segue em alta velocidade e, portanto, alguns trechos da obra talvez mereçam restauração num futuro não distante. Novos trechos devem surgir. Aos autores e aos leitores cabe permanecer viajando nas mais diversas estradas, em busca de paisagens que ampliem o horizonte do conhecimento. Aqui, espera-se ter pavimentado mais uma via para servir de suporte a uma melhor compreensão da engenharia rodoviária. Que esta via estimule novas vias, da mesma forma que uma estrada possibilita a construção de outras tantas.

### Os autores

NOTA IMPORTANTE: Os quatro autores participaram na seleção do conteúdo, na organização e na redação de todos os onze capítulos, e consideram suas respectivas contribuições ao livro equilibradas. A ordem relativa à co-autoria levou em consideração tão somente a coordenação da produção do livro.

## 3.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo trata dos agregados utilizados em revestimentos asfálticos de pavimentos. Todos os revestimentos asfálticos constituem-se de associações de ligantes asfálticos, de agregados e, em alguns casos, de produtos complementares. Essas associações, quando executadas e aplicadas apropriadamente, devem originar estruturas duráveis em sua vida de serviço. Para que isso ocorra, deve-se conhecer e selecionar as propriedades que os agregados devem conter. São apresentados os conceitos básicos sobre agregados para que o engenheiro possa fazer uma escolha apropriada.

De acordo com a norma ABNT NBR 9935/2005, que determina a terminologia dos agregados, o termo agregado é definido como *material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de argamassas e de concreto.*

Woods (1960) define agregado como sendo uma mistura de pedregulho, areia, pedra britada, escória ou outros materiais minerais usada em combinação com um ligante para formar um concreto, uma argamassa etc.

Para conhecer o desempenho potencial dos agregados, é importante considerar como são formados e o que aconteceu com eles desde então. Antes de serem utilizados em um revestimento asfáltico, é importante lembrar que eles já existem há milhões de anos (tempo geológico). Uma vez associados com ligantes asfálticos, como parte de uma estrutura de pavimento, seu desempenho deve ser considerado em termos de tempo em engenharia, que em obras de pavimentação é medido em anos ou décadas.

Os ensaios de laboratório e a experiência prática devem indicar como uma rocha que existe há milhões de anos irá se comportar durante sua vida de projeto em um pavimento. Esse é o objetivo dos ensaios de desempenho.

O agregado escolhido para uma determinada utilização deve apresentar propriedades de modo a suportar tensões impostas na superfície do pavimento e também em seu interior. O desempenho das partículas de agregado é dependente da maneira como são produzidas, mantidas unidas e das condições sob as quais vão atuar. A escolha é feita em laboratório onde uma série de ensaios é utilizada para a predição do seu comportamento posterior quando em serviço.

Agregado é um termo genérico para areias, pedregulhos e rochas minerais em seu estado natural ou britadas em seu estado processado. Há ainda de se considerar também os agregados artificiais como discutido mais adiante.

## 3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS AGREGADOS

O nível de desempenho em serviço de um determinado agregado depende também das propriedades geológicas da rocha de origem. São importantes, portanto, informações sobre o tipo de rocha, sua composição mineralógica, sua composição química, sua granulagem, seu grau de alteração, sua tendência à degradação, abrasão ou fratura sob tráfego e o potencial de adesão do ligante asfáltico em sua superfície.

A variedade de agregados passíveis de utilização em revestimentos asfálticos é muito grande. Contudo, cada utilização em particular requer agregados com características específicas e isso inviabiliza muitas fontes potenciais.

Os agregados utilizados em pavimentação podem ser classificados em três grandes grupos, segundo sua (i) natureza, (ii) tamanho e (iii) distribuição dos grãos.

### 3.2.1 Quanto à natureza

Quanto à natureza, os agregados são classificados em: natural, artificial e reciclado.

**Natural** – Inclui todas as fontes de ocorrência natural e são obtidos por processos convencionais de desmonte, escavação e dragagem em depósitos continentais, marinhos, estuários e rios. São exemplos os pedregulhos, as britas, os seixos, as areias etc. Ou seja, os agregados naturais podem ser empregados em pavimentação na forma e tamanho como se encontram na natureza, ou podem ainda passar por processamentos como a britagem.

Os agregados provenientes de rochas naturais pertencem a um de quatro tipos principais, que são ígneos, sedimentares, metamórficos ou areias e pedregulhos:

- rochas ígneas são aquelas que se solidificaram de um estado líquido e apresentam composição química, granulagem, textura e modos de ocorrência muito variáveis. Alguns tipos são resultantes de esfriamento lento de grandes massas no interior da crosta terrestre, resultando, por exemplo, em granitos e dioritos de granulagem grossa. Outros tipos são extrusivos, provenientes de fluxos de lava para a superfície da Terra, resultando em rochas de granulagem fina, como os basaltos;
- rochas sedimentares são tipicamente formadas pelo intemperismo e erosão de rochas preexistentes, e seu resultado transportado pela ação da água, vento ou gelo. São caracterizadas por camadas estratificadas, originadas pelos processos de deposição. Elas podem ser formadas também por precipitação química de minerais dissolvidos em água, como é o caso do calcário;
- rochas metamórficas ocorrem como resultado de alteração por aquecimento, pressão ou atividade química de rochas ígneas ou sedimentares existentes e compõem um grupo bastante complexo de rochas;
- areias e pedregulhos são agregados naturais, provenientes das rochas de que são originários e dos processos de transporte sofridos antes da deposição.

Os agregados naturais são compostos por diferentes minerais, com composições variáveis. Mesmo com agregados de mineralogia uniforme, as suas propriedades podem ser alteradas pela oxidação, hidratação, lixiviação ou intemperismo. Entretanto, a mineralogia não pode produzir sozinha uma base para prever o comportamento de um agregado em serviço. Exames petrográficos são úteis, e o desempenho de agregados similares em obras existentes, sob condições ambientais e de carregamento semelhantes ajuda na avaliação dos agregados.

O quartzo e o feldspato são minerais duros e resistentes ao polimento e são normalmente encontrados em rochas ígneas, tais como granito e granito-gnaiss. Por outro lado a calcita e a dolomita que ocorrem no calcário são exemplos de minerais macios. O calcário tem uma alta porcentagem de materiais macios que tendem ao polimento mais rapidamente do que a maioria dos outros tipos de agregados.

A instrução de ensaio do DNER-IE 006/94 pode fornecer uma indicação da presença de minerais que podem dar às rochas uma tendência maior ou menor ao polimento quando usadas como agregados para fins rodoviários. Essa instrução de ensaio apresenta uma metodologia de análise petrográfica, tanto microscópica como macroscópica, de materiais rochosos empregados em rodovias.

A descrição microscópica deve ser feita através da análise em lâmina delgada que deverá indicar características como granulação, textura e estrutura, composição mineralógica, modos de ocorrência e minerais secundários. Também deve indicar o estado e o estágio de alteração dos minerais primários, os diferentes tipos de microfissuras e suas densidades, presença de vazios ou poros, natureza dos materiais, sílica na forma amorfa ou criptocristalina, vidros vulcânicos ricos em sílica, alumina livre, zeólitas, sulfetos e minerais argílicos do tipo expansivo.

A descrição macroscópica compreende a indicação de características gerais tais como cor, granulação, mineralogia, classificação genética sumária, textura, estrutura, alteração, coerência e grau de ocorrência.

A análise petrográfica pode ser uma análise visual das partículas individuais dos agregados usando um microscópio óptico, às vezes complementado por difração de raios X, análise térmica diferencial, microscopia eletrônica ou análises químicas. Pode ser usada para medir a quantidade relativa dos tipos de rochas e minerais, os atributos físicos e químicos (tais como forma da partícula, textura superficial, dureza, características de porosidade e atividade química), e a presença de contaminantes nocivos. Análises petrográficas mais detalhadas, como a de lâmina delgada, devem ser mais utilizadas na prática da pavimentação, uma vez que a quantidade de informações obtida é elevada e de grande importância.

Na Tabela 3.1 são apresentados os principais tipos de rochas utilizados como agregados.

**TABELA 3.1 TIPOS DE ROCHAS COMUMENTE USADOS COMO FONTE DE AGREGADOS PARA PAVIMENTAÇÃO NO PAÍS**

Denominação Petrológica	Descrição
Andesito	Variedade de diorito vulcânico, de granulação fina
Basalto	Rocha básica de granulação fina, usualmente vulcânica
Conglomerado	Rocha constituída de blocos arredondados ligados por cimento natural
Diorito	Rocha plutônica intermediária, constituída de plagioclásio com hornblenda, augita ou biotita
Gabro	Rocha plutônica básica de granulação grossa, constituída de plagioclásio cálcico e piroxênio, algumas vezes com olivina
Gnaisse	Rocha riscada, produzida por condição metamórfica intensa
Granito	Rocha plutônica ácida, constituída principalmente de feldspatos alcalinos e quartzo
Calcário	Rocha sedimentar, constituída principalmente de carbonato de cálcio
Quartzito	Rocha metamórfica ou sedimentar constituída quase que totalmente por grãos de quartzo
Riolito	Rocha ácida, de granulação fina, usualmente vulcânica
Sienito	Rocha plutônica intermediária, constituída de feldspatos alcalinos com plagioclásios, hornblenda, biotita ou augita
Traquito	Variedade de sienito de granulação fina, usualmente vulcânico

As rochas ígneas são também classificadas segundo a quantidade de sílica presente, conforme a Tabela 3.2. O sentido dos termos ácido e básico não corresponde ao utilizado na química, mas está relacionado à carga elétrica superficial das partículas do agregado.

Os minerais nas partículas de agregados apresentam seus átomos dispostos em uma rede cristalina, onde os átomos da superfície exercem atração sobre átomos de gases, líquidos ou sólidos que com ela tenham contato, promovendo a adsorção química. Essa adsorção é o principal fator na adesividade entre o agregado e os ligantes asfálticos.

A maioria dos agregados silicosos tais como arenito, quartzo e cascalho torna-se negativamente carregada na presença de água, enquanto materiais calcários conduzem carga positiva na presença de água.

Muitos agregados contêm ambas as cargas porque são compostos de minerais tais como sílica com carga negativa e também cálcio, magnésio, alumínio ou ferro com carga positiva. Agregados típicos que apresentam essa condição incluem basaltos e calcários silicosos. A dolomita é um exemplo de caso extremo de agregado eletropositivo e o quartzito um exemplo de agregado eletronegativo.

Os agregados de rochas classificadas como ácidas costumam apresentar problemas de adesividade, enquanto os de rochas classificadas como básicas costumam apresentar melhor adesividade ao ligante asfáltico.

**TABELA 3.2 CLASSIFICAÇÃO DE ROCHAS QUANTO AO TEOR DE SÍLICA PRESENTE (METSO MINERALS, 2005)**

Classificação	% Sílica	Quartzo	Exemplo
Ácida	> 65	Presente	Granito, riolito, quartzito
Neutra	52 a 65	Pouco ou inexistente	Sienito, diorito
Básica	45 a 52	Raríssimo	Basalto, gabro
Ultrabásica	< 45	Inexistente, feldspato escasso	Piroxenito

Em algumas regiões do país onde existe falta de material rochoso, um dos principais materiais alternativos utilizados na construção rodoviária são as concreções lateríticas, obtidas por peneiramento e, às vezes, complementadas por lavagem.

Conforme Guimarães e Motta (2000), denomina-se no meio rodoviário brasileiro de laterita a um solo concrecionado enriquecido com óxidos hidratados de ferro ou alumínio, tendo a caulinita como argilo-mineral predominante, com coloração vermelha, amarela, marrom ou alaranjada. Nogami e Villibor (1995) citam que as lateritas contêm também freqüentemente a magnetita, a ilmenita, a hematita e, sobretudo, o quartzo; e ainda alertam para um dos problemas da laterita que é a grande variação de propriedades, o que dificulta a previsão de comportamento.

Em misturas asfálticas, empregam-se preferencialmente as lateritas lavadas, resultantes do processo de separação dos agregados graúdos desse material, maiores que 4,8mm. O processo de lavagem da laterita é semelhante ao processo de extração de areia dos rios. Em vez de se dragar o fundo do rio, draga-se um tanque onde a laterita bruta é previamente depositada por caminhões basculantes. Após ser depositada, a laterita sofre uma pré-lavagem com mangueiras de pressão e o material é em seguida dragado do fundo do tanque através de tubos, sendo conduzido a um peneirador, onde a granulometria desejada é obtida.

**Artificial** – São resíduos de processos industriais, tais como a escória de alto-forno e de aciaria, ou fabricados especificamente com o objetivo de alto desempenho, como a argila calcinada (Cabral, 2005) e a argila expandida. O tipo de agregado artificial atualmente mais utilizado em pavimentação são os vários tipos de escórias, subprodutos da indústria do aço. Elas podem apresentar problemas de expansibilidade e heterogeneidade, requerendo tratamento adequado para utilização, porém podem apresentar alta resistência ao atrito.

**Reciclado** – Nessa categoria estão os provenientes de reuso de materiais diversos. A reciclagem de revestimentos asfálticos existentes vem crescendo significativamente em importância e em alguns países já é a fonte principal de agregados. A possibilidade de utilização de agregados reciclados vem crescendo em interesse por restrições ambientais na

exploração de agregados naturais e pelo desenvolvimento de técnicas de reciclagem que possibilitam a produção de materiais reciclados dentro de determinadas especificações existentes para utilização. Destaca-se também a utilização crescente de resíduo de construção civil em locais com ausência de agregados pétreos ou mesmo em áreas urbanas que possuam pedreiras, como forma de reduzir os problemas ambientais de disposição destes resíduos (Fernandes, 2004).

### 3.2.2 Quanto ao tamanho

Os agregados são classificados quanto ao tamanho, para uso em misturas asfálticas, em graúdo, miúdo e material de enchimento ou fíler (DNIT 031/2004 – ES):

- *graúdo* – é o material com dimensões maiores do que 2,0mm, ou seja, retido na peneira nº 10. São as britas, cascalhos, seixos etc.;
- *miúdo* – é o material com dimensões maiores que 0,075mm e menores que 2,0mm. É o material que é retido na peneira de nº 200, mas que passa na de abertura nº 10. São as areias, o pó de pedra etc.;
- *material de enchimento (fíler)* – é o material onde pelo menos 65% das partículas é menor que 0,075mm, correspondente à peneira de nº 200, e.g., cal hidratada, cimento Portland etc.

O tamanho máximo do agregado em misturas asfálticas para revestimentos pode afetar essas misturas de várias formas. Pode tornar instáveis misturas asfálticas com agregados de tamanho máximo excessivamente pequeno e prejudicar a trabalhabilidade e/ou provocar segregação em misturas asfálticas com agregados de tamanho máximo excessivamente grande. A norma ASTM C 125 define o tamanho máximo do agregado em uma de duas formas:

- *tamanho máximo* – é a menor abertura de malha de peneira através da qual passam 100% das partículas da amostra de agregado. Na metodologia SHRP-Superpave o tamanho máximo do agregado é definido como a abertura de malha imediatamente maior do que a correspondente ao tamanho nominal máximo;
- *tamanho nominal máximo* – é a maior abertura de malha de peneira que retém alguma partícula de agregado, mas não mais de 10% em peso. Na metodologia SHRP-Superpave o tamanho nominal máximo é definido como a abertura de malha de peneira imediatamente maior do que a da primeira peneira a reter mais de 10% do material.

O material passante na peneira de nº 200 vem sendo designado como pó (*dust* em inglês) (Motta e Leite, 2000) para distingui-lo da definição do DNIT de fíler. Essa distinção está relacionada à possível incorporação de parcela dos finos no ligante em uma mistura asfáltica. Na metodologia SHRP-Superpave há inclusive limites para a relação pó/teor de ligante, como será visto no Capítulo 5.

Quando a porcentagem de pó aumenta, reduzem-se os vazios do esqueleto mineral e aumenta-se a trabalhabilidade da mistura asfáltica até certo ponto. Acima de um deter-

minado teor, o pó começa a prejudicar a trabalhabilidade bem como a estabilidade do esqueleto mineral, diminuindo os contatos entre as partículas grossas, alterando também a capacidade de compactação da mistura.

Se a maior parte do pó tiver partículas maiores que 0,040mm, elas vão atuar como preenchedoras dos vazios do esqueleto mineral. As partículas menores do que 0,020mm atuarão no ligante asfáltico, incorporando-se a este e compondo um filme de ligante, denominado mástique, que envolverá as partículas maiores de agregado.

### 3.2.3 Quanto à distribuição dos grãos

A distribuição granulométrica dos agregados é uma de suas principais características e efetivamente influi no comportamento dos revestimentos asfálticos. Em misturas asfálticas a distribuição granulométrica do agregado influencia quase todas as propriedades importantes incluindo rigidez, estabilidade, durabilidade, permeabilidade, trabalhabilidade, resistência à fadiga e à deformação permanente, resistência ao dano por umidade induzida etc. (ver no Capítulo 6).

A distribuição granulométrica dos agregados é determinada usualmente por meio de uma análise por peneiramento. Nessa análise uma amostra seca de agregado é fracionada através de uma série de peneiras com aberturas de malha progressivamente menores, conforme ilustrado na Figura 3.1. Uma vez que a massa da fração de partículas retida em cada peneira é determinada e comparada com a massa total da amostra, a distribuição é expressa como porcentagem em massa em cada tamanho de malha de peneira.

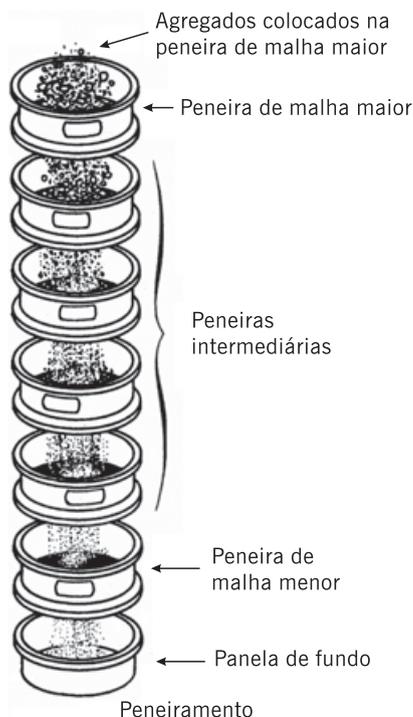


Figura 3.1 Ilustração da análise por peneiramento

De acordo com a norma DNER-ME 035/95 os tamanhos de peneiras a serem usadas na análise granulométrica são os mostrados na Tabela 3.3. Porém, nem todos os tamanhos são necessariamente usados em cada especificação. Ressalta-se que, embora a referida norma não cite a peneira de abertura 12,5mm, esta é muito utilizada nos projetos de misturas asfálticas.

**TABELA 3.3 DIMENSÕES NOMINAIS DAS PENEIRAS SEGUNDO O DNER-ME 035/95**

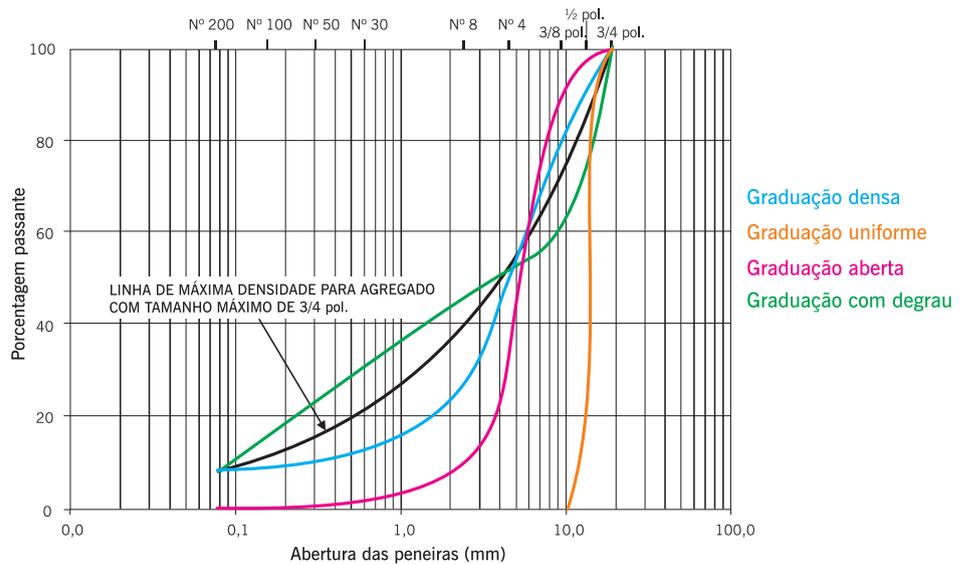
Dão da Peneira		Abertura da Peneira	
Padrão	Número	Milímetros	Polegadas
75,0mm		75,0	3,0
50,0mm		50,0	2,0
37,5mm		37,5	1,5
25,0mm		25,0	1,0
19,0mm		19,0	0,75
9,5mm		9,5	0,375
4,75mm	4	4,75	0,187
2,36mm	8	2,36	0,0937
2,00mm	10	2,00	0,0789
1,18mm	16	1,18	0,0469
600 $\mu$ m	30	0,600	0,0234
425 $\mu$ m	40	0,425	0,0168
300 $\mu$ m	50	0,300	0,0117
150 $\mu$ m	100	0,150	0,0059
75 $\mu$ m	200	0,075	0,0029

A norma DNER-ME 083/98 descreve o procedimento de análise por peneiramento. Os resultados são expressos na forma de tabelas ou gráficos como indicado na Figura 3.2(a). A metodologia SHRP-Superpave utiliza uma outra forma de apresentar a distribuição granulométrica na qual a porcentagem de agregados passante em uma certa malha de peneira está no eixo y e o tamanho da malha elevado a uma potência n (normalmente  $n=0,45$ ) como unidade no eixo x – Figura 3.2(b). Nesse caso, a distribuição granulométrica com densidade máxima aparece como uma linha reta iniciando-se em zero e se desenvolvendo até o tamanho máximo.

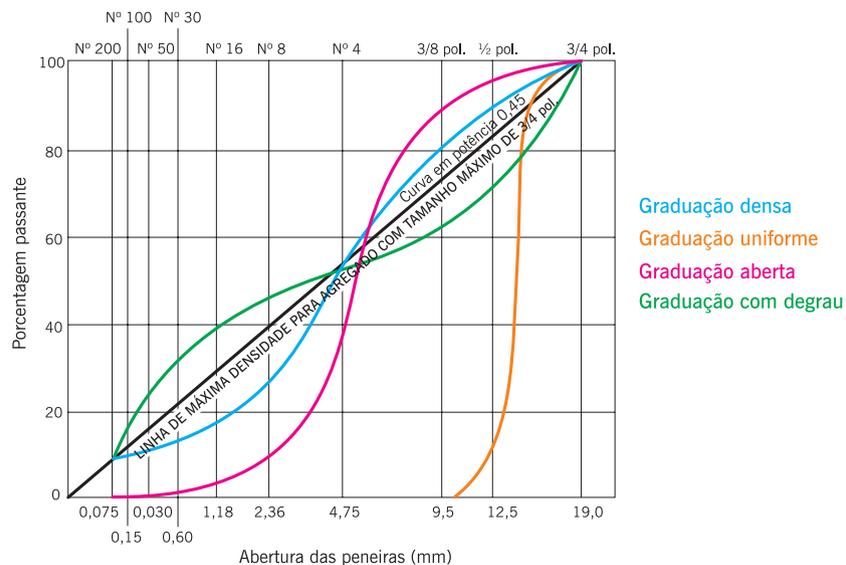
Uma vez que a distribuição granulométrica dos agregados é uma de suas mais importantes características físicas, a subdivisão da graduação em algumas classes auxilia na distinção de tipos de misturas asfálticas, que serão abordadas no Capítulo 4. A seguir são denominadas as mais importantes graduações, ilustradas na Figura 3.2:

- agregado de graduação **densa** ou **bem-graduada** é aquele que apresenta distribuição granulométrica contínua, próxima à de densidade máxima;
- agregado de graduação **aberta** é aquele que apresenta distribuição granulométrica contínua, mas com insuficiência de material fino (menor que 0,075mm) para preencher os vazios entre as partículas maiores, resultando em maior volume de vazios. Nas frações de menor tamanho a curva granulométrica é abatida e próxima de zero;

- agregado de graduação **uniforme** é aquele que apresenta a maioria de suas partículas com tamanhos em uma faixa bastante estreita. A curva granulométrica é bastante íngreme;
- agregado com graduação com degrau ou **descontínua** é aquele que apresenta pequena porcentagem de agregados com tamanhos intermediários, formando um patamar na curva granulométrica correspondente às frações intermediárias. São agregados que devem ser adequadamente trabalhados quando em misturas asfálticas, pois são muito sensíveis à segregação.



(a) Representação convencional de curvas granulométricas



(b) Representação de curvas granulométricas pelo SHRP-Superpave

Figura 3.2 Graduações típicas de agregados

Em função de seu preparo, algumas frações de agregados obtidos por britagem recebem denominações específicas, regionais, na prática da pavimentação, tais como: brita corrida, pedrisco, granilha etc.

### 3.3 PRODUÇÃO DE AGREGADOS BRITADOS

As características físicas dos agregados como resistência, abrasão e dureza são determinadas pela rocha de origem. Entretanto, o processo de produção nas pedreiras pode afetar significativamente a qualidade dos agregados, pela eliminação das camadas mais fracas da rocha e pelo efeito da britagem na forma da partícula e na graduação do agregado (Marques, 2001).

Normalmente nas pedreiras existe uma camada de solo e de rocha alterada sobrejacentes que devem ser removidas antes que a rocha sã seja encontrada. Essa parte superficial e não-aproveitável na produção de britas é designada como “estéril”.

#### 3.3.1 Operação de britagem

O propósito básico da exploração de uma pedreira é o desmonte da rocha sã por meio de explosivos e, utilizando uma série de britadores e outras unidades, reduzir o material de modo a produzir os agregados utilizáveis na execução de um pavimento. Também é desejável produzir agregado britado que tenha formato cúbico e não achatado ou alongado. Segundo Roberts *et al.* (1996) as unidades de britagem são escolhidas para atender os seguintes objetivos:

- reduzir os tamanhos dos blocos de rocha;
- produzir formas e tamanhos desejados de agregados;
- ter capacidade compatível com as cargas envolvidas para permitir seu manuseio;
- minimizar a ocorrência de entupimentos e colmatação nas unidades durante a operação;
- requerer um mínimo de pessoal;
- satisfazer exigências de britagem sem a necessidade de estágios de britagem adicionais e equipamentos auxiliares;
- minimizar a demanda de energia por tonelada de agregado produzida;
- não haver desgaste excessivo dos componentes metálicos;
- operar economicamente com um mínimo de manutenção; e
- permitir uma vida de serviço longa.

A Figura 3.3 mostra o esquema do processo de operação em uma instalação de britagem que usa um britador de mandíbula como britador primário e um britador de cone como secundário.

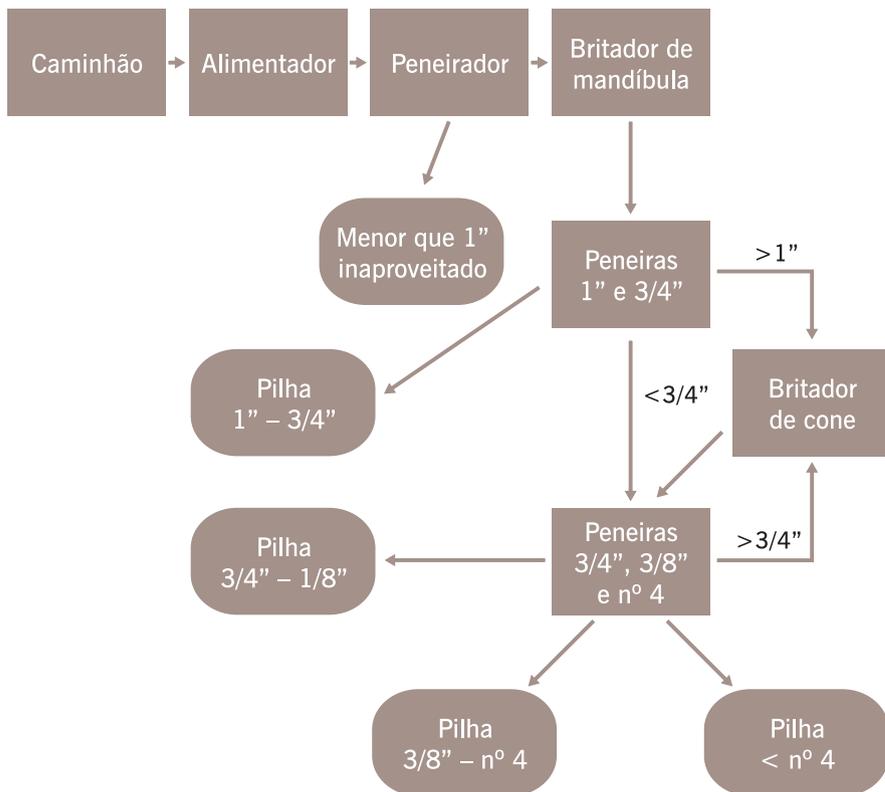


Figura 3.3 Esquema simplificado do processo de britagem (Roberts *et al.*, 1996)

A rocha após seu desmonte é transportada para o britador por um caminhão, conforme mostrado na Figura 3.4. O material mais fraco normalmente se quebra em pequenos pedaços que são removidos antes da britagem. A operação de britagem pode ser descrita de forma simplificada como segue. O britador de mandíbula (primário) quebra a rocha em tamanhos que possam ser trabalhados pelos outros britadores. A Figura 3.5 mostra um exemplo de britador primário. Após a britagem primária, os agregados são selecionados em vários tamanhos por peneiramento. O material maior que 1" (25,4mm) é colocado no britador de cone para britagem adicional. O material menor que 1" e maior que 3/4" (19mm) é estocado. O material menor que 3/4" é levado para um segundo peneirador para separações futuras. O material maior que 3/4" retorna ao britador de cone para nova britagem. O material menor que 3/4" é peneirado e estocado em três pilhas separadas: material entre 3/4" e 3/8" (9,5mm), entre 3/8" e nº 4 (4,8mm), e menor que 4,8mm. A maioria das operações nas instalações de britagem apresenta maior complexidade que a descrita, ou apresenta procedimentos diferentes, porém a operação é sempre feita com britadores e peneiradores. Outras centrais apresentam a capacidade de lavar os agregados em certos pontos da operação (Marques, 2001). A Figura 3.6 mostra uma vista geral de uma instalação de britagem.

Durante a operação de britagem é essencial que as propriedades do produto final sejam homogêneas. Quando a rocha é removida de várias localizações na pedreira, as

propriedades físicas dos agregados podem variar substancialmente. O controle de qualidade durante as operações de britagem deve assegurar que as propriedades físicas dos agregados não variem excessivamente. O ideal é que a quantidade de material que alimenta as operações de britagem seja aproximadamente constante. O aumento da vazão de fluxo de material nos britadores, normalmente resulta em mais transbordamento de agregado mais fino sobre as peneiras. Esse excesso resulta em um estoque de material mais fino.

O britador primário produz uma redução mecânica inicial de 8" (200mm) para 1" (25,4mm). Os britadores secundário e terciário reduzem os agregados até o tamanho desejado.



Figura 3.4 Carregamento de um caminhão na pedreira



(a) Vista superior



(b) Vista lateral

Figura 3.5 Exemplo de britador primário



Figura 3.6 Vista geral de uma instalação de britagem

### 3.3.2 Tipos de britadores

A redução mecânica envolve quatro diferentes mecanismos: impacto, desgaste por atrito, cisalhamento e compressão.

O impacto se refere à colisão instantânea de um objeto contra outro. A maioria dos britadores usa o impacto como um dos mecanismos para redução de tamanho, conforme visto na Figura 3.7. O impacto pode ser por gravidade ou dinâmico.

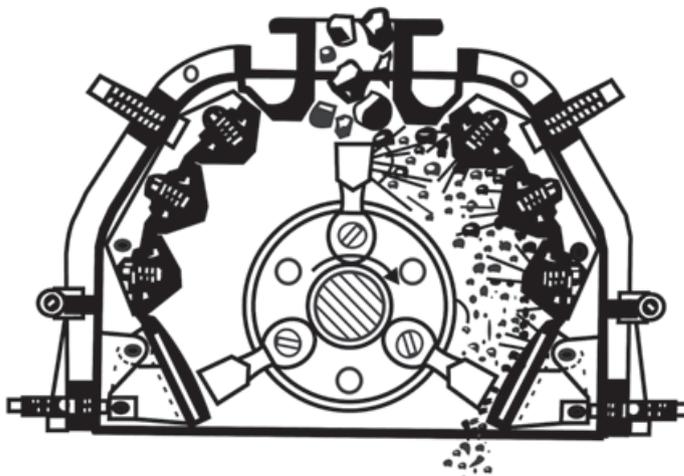
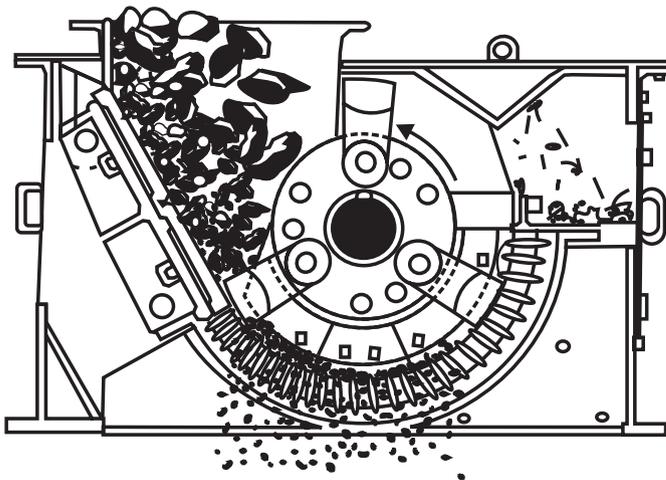


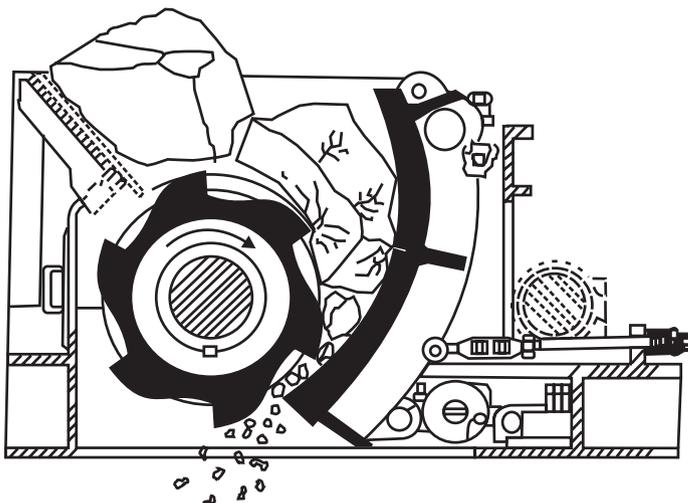
Figura 3.7 Redução mecânica por impacto (Roberts *et al.*, 1996)

No desgaste por atrito ocorre a trituração do material por uma ação de desgaste entre duas superfícies duras, como pode ser visto na Figura 3.8. Os martelos de triturar, os britadores giratórios e os de cones usam esse tipo de método de redução.



**Figura 3.8** Redução mecânica combinando impacto e desgaste por atrito  
(Roberts *et al.*, 1996)

O cisalhamento ocorre pela ação de um aparador ou talhador tal como aquele produzido por um simples rolo triturador, de acordo com a Figura 3.9. É normalmente usado em combinação com impacto e compressão.



**Figura 3.9** Redução mecânica combinando impacto, cisalhamento e compressão  
(Roberts *et al.*, 1996)

A compressão refere-se à redução mecânica por forças compressivas entre duas superfícies. Britadores de mandíbula usando compressão são os mais efetivos sistemas para reduzir o tamanho de partículas maiores de rochas muito duras e abrasivas (Figura 3.10). O tipo de rocha a ser processada tem uma influência significativa na escolha do equipamento de britagem a ser usado.

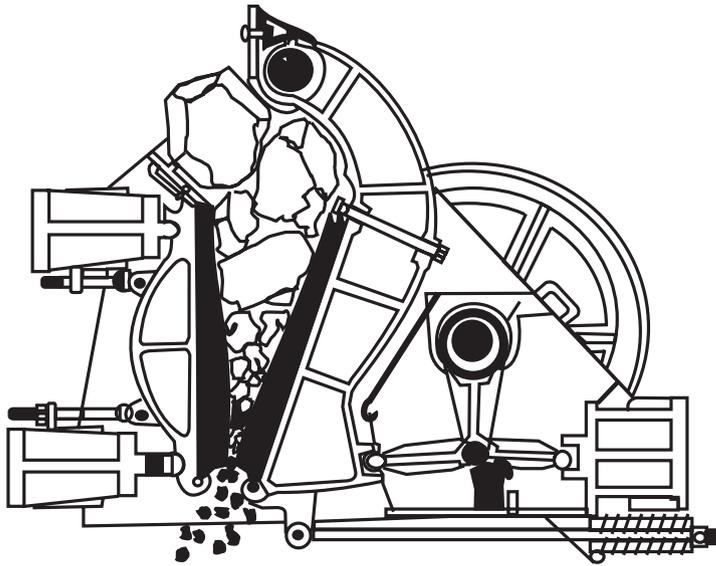


Figura 3.10 Redução mecânica por compressão e impacto em um britador de mandíbula que brita sem atrito (Roberts *et al.*, 1996)

### 3.4 CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS IMPORTANTES DOS AGREGADOS PARA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

Os revestimentos asfálticos modernos constituem um material composto formado por agregados de vários tamanhos e proporções mantidos unidos por um ligante asfáltico. Seu nível de desempenho será tanto melhor quanto maior for o entendimento de como seus constituintes reagem juntos sob as condições prevalentes em um pavimento. Existe uma elaborada série de fatores que atuam conjuntamente para produzir uma estrutura com desempenho adequado.

A seleção de agregados para utilização em revestimentos asfálticos depende de sua disponibilidade, custo e qualidade, bem como do tipo de aplicação. Segundo Roberts *et al.* (1996) são as propriedades físicas dos agregados que determinam principalmente a adequação para o uso em misturas asfálticas e em menor extensão as propriedades químicas. São propriedades físicas e mecânicas básicas: a resistência, a porosidade e a densidade. Propriedades físico-químicas tais como umidade, adesividade e, em consequência, descolamento da película de asfalto são função da composição e da estrutura dos minerais no agregado, entre outros fatores. As propriedades químicas dos agregados têm pequeno efeito no seu desempenho, exceto quando afetam a adesividade do ligante asfáltico ao agregado e a compatibilidade com aditivos antidescolamento que podem ser incorporados ao ligante asfáltico.

Uma compreensão da mineralogia e identificação de minerais pode produzir informações sobre propriedades físicas e químicas potenciais de um agregado para um determi-

nado uso, e pode ajudar a evitar o uso de um agregado que tenha constituintes minerais nocivos. A aceitação dos agregados é definida pela análise de determinadas características, devendo-se proceder previamente à coleta de amostras de forma adequada.

Amostras de agregados são normalmente tomadas em pilhas de estocagem, correias transportadoras, silos quentes (Capítulo 8) ou às vezes de caminhões carregados. Os técnicos responsáveis pela amostragem devem evitar a coleta de material que esteja segregado, quando obtido de pilhas de estocagem, caminhões ou silos. O melhor local para obter uma amostra é de uma correia transportadora. A largura total de fluxo na correia deve ser amostrada, uma vez que o agregado também segrega na correia (Marques, 2001).

Uma amostra representativa é formada pela combinação de um número de amostras aleatórias obtidas em um período de tempo (um dia para amostras em correias) ou tomando amostras de várias locações em pilhas de estocagem e combinando essas amostras. As amostras devem ser tomadas atentando-se para o efeito da segregação nas pilhas de estocagem. O agregado no fundo das pilhas é usualmente mais gráudo. O método mais utilizado para amostragem em uma pilha é escalar seu lado, entre o fundo e a ponta, remover uma camada superficial e obter uma amostra debaixo dessa superfície (Marques, 2001).

A norma DNER-PRO 120/97 fixa as exigências para amostragem de agregados em campo. É indicado o material necessário para coleta de amostras (pá, enxada, lona, caixa de madeira, vassoura, etiqueta), as quantidades de amostras de agregados gráudos e miúdos para a realização de ensaios de caracterização e mecânicos, assim como os procedimentos de coleta. São abordados os procedimentos de amostragem em silos, em pilhas de estocagem, em material espalhado na pista e em veículos. São descritos também as formas de embalagem e os itens de identificação da amostra (natureza, procedência, qualidade, data, local de coleta, responsável, finalidade etc.).

Depois de tomadas as quantidades requeridas e levadas ao laboratório, cada amostra deve ser reduzida para o tamanho apropriado aos ensaios específicos, podendo-se usar para isso um separador ou proceder a um quarteamento.

A norma ASTM C 702 descreve três métodos para reduzir amostras de agregados a tamanhos apropriados para ensaios aplicando técnicas cujos objetivos são minimizar as variações nas características medidas entre as amostras testadas e a amostra original.

A norma DNER-PRO 199/96 fixa as condições exigíveis na redução de uma amostra de agregado formada no campo para ensaios de laboratório, onde são indicados vários procedimentos para reduzir amostras de agregados.

Um dos procedimentos utiliza um separador mecânico que consiste de um aparelho com várias calhas de igual largura. O número de calhas pode variar de 8 (agregados gráudos) a 20 (agregados miúdos) que descarregam alternativamente em cada lado do separador. A Figura 3.11 mostra um separador mecânico de amostras. Consiste em se colocar a amostra original em uma bandeja e distribuir uniformemente sobre as calhas do separador, de tal forma que quando o material é introduzido nas calhas, uma quan-

tidade aproximadamente igual deve fluir na parte inferior da calha. O material que for caindo em cada um dos receptáculos inferiores deverá ser reintroduzido na parte superior das calhas tantas vezes quantas forem necessárias até reduzir a amostra original ao tamanho especificado pelo método de ensaio em questão. Deve-se reservar o material contido no outro receptáculo para redução de amostras para outros ensaios, quando forem requeridos.



**Figura 3.11 Equipamento separador mecânico de amostras**

(Foto: Marconi Equip. Ltda.)

Outro procedimento é chamado de quarteamento. Consiste em se misturar a amostra original manualmente com uma pá sobre uma superfície limpa e plana formando uma pilha de formato cônico. Logo em seguida o cone é achatado formando um círculo com espessura constante. Esse círculo é então dividido em quatro quartos iguais. Removem-se dois quartos opostos de material, conforme a Figura 3.12. Os outros dois quartos opostos que sobraram são reunidos e um novo quarteamento é feito da mesma forma como descrito até aqui. Essa operação é repetida até se obter a quantidade necessária requerida pelo ensaio a realizar. Uma alternativa a esse procedimento é utilizar uma lona para depositar o material, quando a superfície do terreno for irregular.

São descritas a seguir as características que são analisadas para aceitação de agregados para misturas asfálticas segundo a maioria das especificações e especialmente as do DNER/DNIT.

### **3.4.1 Tamanho e graduação**

O tamanho máximo do agregado e sua graduação são controlados por especificações que prescrevem a distribuição granulométrica a ser usada para uma determinada aplicação. Por exemplo, a espessura mínima de execução de uma camada de concreto asfáltico determina diretamente o tamanho máximo do agregado usado nessa mistura asfáltica.



(a) Achatamento de cone formando um círculo com espessura constante



(b) Divisão em quatro quartos iguais



(c) Vista dos quatro quartos iguais



(d) Remoção de dois quartos opostos

**Figura 3.12** Redução de amostra de agregado por quarteamento manual

(Fotos: Marques, 2001)

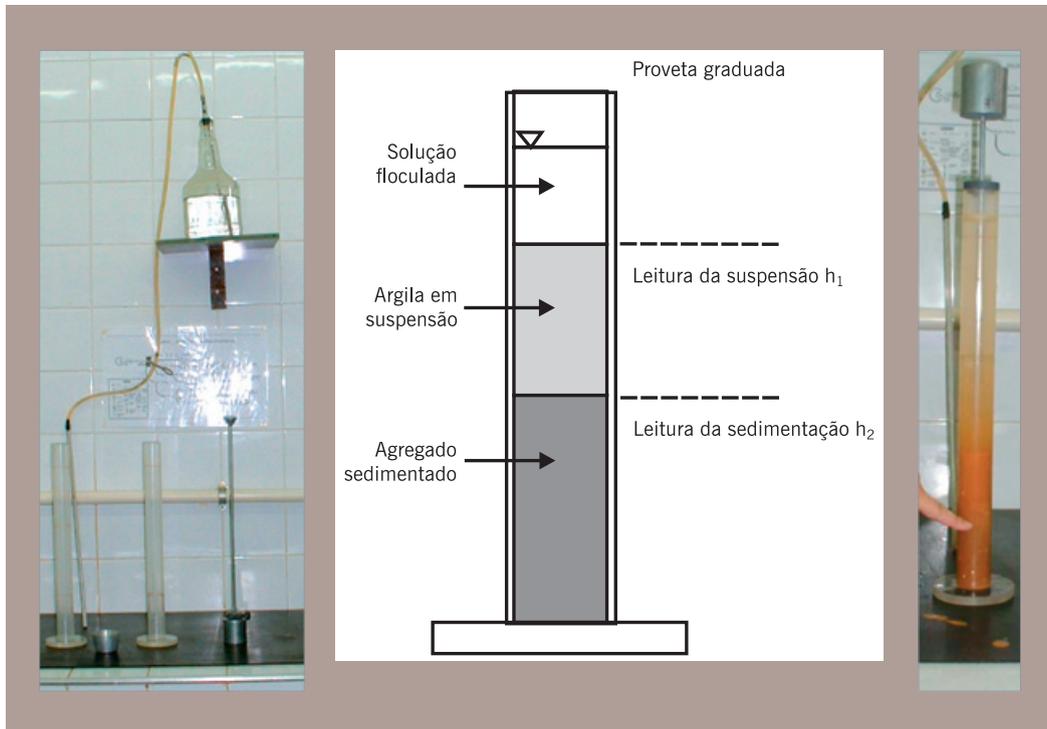
A distribuição granulométrica assegura a estabilidade da camada de revestimento asfáltico, por estar relacionada ao entrosamento entre as partículas e o consequente atrito entre elas.

### 3.4.2 Limpeza

Alguns agregados contêm certos materiais que os tornam impróprios para utilização em revestimentos asfálticos, a menos que a quantidade desses materiais seja pequena. São materiais deletérios típicos tais como: vegetação, conchas e grumos de argila presentes sobre a superfície das partículas do agregado gráudo. As especificações de serviço apresentam limites aceitáveis para a presença desses materiais. A limpeza dos agregados pode ser verificada visualmente, mas uma análise granulométrica com lavagem é mais eficiente.

O ensaio de equivalente de areia, descrito na norma DNER-ME 054/97, determina a proporção relativa de materiais do tipo argila ou pó em amostras de agregados miúdos. Nesse ensaio, uma amostra de agregado, com tamanhos de partículas menores do que 4,8mm medida em volume numa cápsula padrão, é colocada em uma proveta contendo

uma solução de cloreto de cálcio-glicerina-formaldeído e mantida em repouso por 20 minutos. Em seguida o conjunto é agitado por 30 segundos e, após completar a proveta com a solução até um nível predeterminado, deixado em repouso por mais 20 minutos, conforme mostrado na Figura 3.13. Após esse período, é determinada a altura de material floculado em suspensão ( $h_1$ ). Com um bastão padronizado que é introduzido na proveta, é determinada a altura de agregado depositado por sedimentação ( $h_2$ ).



**Figura 3.13 Equipamentos para o ensaio de equivalente de areia e esquema da proveta com os materiais depositados para a leitura final**

O equivalente de areia (EA) é determinado pela expressão 3.1:

$$EA = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \quad (3.1)$$

Por exemplo, para que um agregado possa ser utilizado em concreto asfáltico, o equivalente de areia deve ser de pelo menos 55%.

### 3.4.3 Resistência à abrasão

Durante o processo de manuseio e execução de revestimentos asfálticos, os agregados estão sujeitos a quebras e abrasão. A abrasão ocorre também durante a ação do tráfego. Eles devem apresentar habilidade para resistir a quebras, degradação e desintegração.

Agregados localizados próximos ou na superfície do pavimento devem apresentar resistência à abrasão maior do que os localizados nas camadas inferiores.

A tenacidade e resistência abrasiva são tratadas por algumas normas brasileiras, mesmo que indiretamente, através das metodologias citadas a seguir. Nesses ensaios, os agregados são submetidos a algum tipo de degradação mecânica e medida a alteração provocada, principalmente na granulometria original, ao final da degradação. Dessa forma as características de tenacidade, resistência abrasiva e até mesmo de dureza dos agregados são presumidamente avaliadas (Marques, 2001). Em virtude das características de procedimentos serem semelhantes nesses ensaios, foram assim agrupados:

- DNER-ME 035/98 Agregados – determinação da abrasão Los Angeles.
- DNER-ME 197/97 Agregados – determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos.
- DNER-ME 096/98 Agregado graúdo – avaliação da resistência mecânica pelo método dos 10% de finos.
- DNER-ME 397/99 Agregados – determinação do índice de degradação Washington – IDW.
- DNER-ME 398/99 Agregados – determinação do índice de degradação após compactação Proctor IDP.
- DNER-ME 399/99 Agregados – determinação da perda ao choque no aparelho Treton.
- DNER-ME 401/99 Agregados – determinação do índice de degradação de rochas após compactação Marshall, com ligante – IDML e sem ligante – IDM.

O ensaio comumente utilizado para medir a resistência à abrasão é o ensaio de abrasão Los Angeles. Nesse ensaio uma amostra de agregado de cerca de 5.000g ( $m_i$ ) é submetida a 500 ou 1.000 revoluções no interior do cilindro de um equipamento padronizado (Figura 3.14). Um número variado de esferas de aço, conforme a granulometria da amostra, é adicionado no cilindro, induzindo impactos nas partículas durante as suas revoluções. O resultado é avaliado pela redução de massa dos agregados retidos na peneira de nº 12 (1,7mm) em relação à massa inicial da amostra especificada, conforme a expressão 3.2:

$$LA = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (3.2)$$

Os equipamentos e o procedimento são detalhados nas normas DNER-ME 035/98 para agregados pétreos e DNER-ME 222/94 para agregados sintéticos fabricados com argila. Os limites de aceitação para a abrasão Los Angeles dependem do tipo de aplicação do agregado e das exigências dos órgãos viários. Em revestimentos asfálticos, é desejável uma resistência ao desgaste relativamente alta, indicada por uma baixa abrasão no ensaio de abrasão Los Angeles. As especificações brasileiras que envolvem o uso de

agregados em camadas de base e revestimento de pavimentos, normalmente limitam o valor da abrasão Los Angeles (LA) entre 40 e 55%.

Agregados de algumas regiões do país, como por exemplo a região do município do Rio de Janeiro, apresentam o valor da abrasão Los Angeles muito acima de 55%, em alguns casos, chegando a 65%. Devido à impossibilidade de se encontrar agregados com esse parâmetro atendido nas proximidades da obra, muitas rodovias foram pavimentadas usando-se os agregados da região, embora estivessem em desacordo com a especificação vigente, mas com a autorização do DNER ou órgão regional competente para tal procedimento (Marques, 2001).



**Figura 3.14** Equipamento para ensaio de abrasão Los Angeles

Em virtude dessa experiência e de outras em que agregados com abrasão Los Angeles acima do limite superior foram usados e o desempenho ao longo dos anos mostrou-se satisfatório quanto a esse parâmetro, o DNER passou a recomendar a execução de outros ensaios a serem conduzidos nos agregados que apresentassem o valor de abrasão Los Angeles acima do limite superior especificado. A indicação desses ensaios assim como valores limites a serem adotados para os mesmos foram sugeridos em pesquisa do IPR-DNER (IPR, 1998). Esses ensaios são os seguintes: DNER-ME 397/99, DNER-ME 398/99, DNER-ME 399/99, DNER-ME 400/99 e DNER-ME 401/99.

A norma DNER-ME 197/97 avalia o desempenho do material ao desgaste pelo atrito interno simulando no ensaio a compressão imposta pelos rolos compactadores durante a construção ou posteriormente, no próprio pavimento construído, sob ação do tráfego. O agregado, previamente peneirado e seco, é compactado por meio de um soquete, em três camadas com 25 golpes em cada. Em seguida determina-se a massa do corpo-de-prova (M). Ele deve ser submetido a uma carga uniforme de 400kN à razão de 40kN por minuto. Após esse carregamento, o corpo-de-prova é retirado e o material é peneirado na peneira

2,4mm. O material retido nessa peneira é determinado ( $M_f$ ). A resistência do agregado ao esmagamento ( $R$ ) é determinada pela expressão 3.3:

$$R = \frac{(M - M_f)}{M} \times 100 \quad (3.3)$$

O procedimento descrito na norma DNER-ME 096/98 é semelhante ao anterior e consiste em se medir a força necessária para que um êmbolo atinja uma determinada penetração no corpo-de-prova, que varia dependendo da natureza da amostra.

A norma DNER-ME 397/99 apresenta um método para determinar o índice de degradação Washington (IDW), em amostra de rocha britada obedecendo a uma faixa granulométrica padronizada entre as peneiras de 12,7mm (1/2") e 2,0mm (nº 10).

O material a ensaiar deve ser britado até passar na peneira de 12,7mm. Em seguida é lavado sobre a peneira de 2,0mm e seco em estufa até constância de massa. Separa-se 500g de material que passe na peneira de 12,7mm e fique retido na peneira de 6,4mm, e 500g de material que passe na peneira de 6,4mm e fique retido na peneira de 2,0mm. A amostra é então colocada em recipiente de plástico, juntamente com 200cm<sup>3</sup> de água, tampado hermeticamente e colocado em um peneirador motorizado para promover agitação mecânica com  $300 \pm 5$  oscilações por minuto por 20 minutos. Após a agitação, despeja-se a amostra e água sobre uma peneira de 2,0mm, sobreposta à peneira de 0,075mm (nº 200) e ambas colocadas sobre um funil sobre uma proveta graduada de 500ml. Lavam-se os agregados com água até que a marca de 500ml na proveta seja atingida pela água.

Coloca-se em uma proveta 7ml de uma solução previamente preparada (cloreto de cálcio anidro, glicerina e solução de formaldeído a 40% em volume). Na proveta graduada, faz-se com que o material retido na peneira nº 200 e a água de lavagem fiquem em suspensão, tampando a proveta com a mão e virando-a de cabeça para baixo e para cima, cerca de 10 vezes. Em seguida, despeja-se o líquido na proveta de equivalente de areia até a marca de 15" (381mm) e tampa-se com rolha de borracha.

Agita-se a proveta do equivalente de areia, de forma semelhante ao descrito anteriormente, cerca de 20 vezes em aproximadamente 35 segundos. Após essa agitação, coloca-se a proveta sobre a mesa, retira-se a rolha e aciona-se o cronômetro. Após 20 minutos anota-se a altura da coluna de sedimento ( $H$ ) em polegadas, com precisão de 0,1" (2,54mm). O índice de degradação Washington é calculado pela expressão 3.4:

$$IDW = \frac{(15 - H)}{15 + 1,75H} \times 100 \quad (3.4)$$

Os valores de IDW podem variar de 0 a 100, correspondendo os maiores valores aos melhores materiais. A expressão coloca os materiais duvidosos aproximadamente no meio da escala, estando os inadequados abaixo e os bons acima desse ponto.

A norma DNER-ME 398/99 apresenta um método de determinação do Índice de Degradação após compactação Proctor (IDP), utilizando agregados naturais provenientes da britagem de rochas obedecendo a uma granulometria padrão, definida pelas peneiras de 25,0mm, 19,0mm, 9,5mm, 4,8mm, 2,0mm, 0,42mm e 0,075mm. A compactação é feita no cilindro Proctor modificado munido de um cilindro espaçador, com cinco camadas e 26 golpes por camada.

As amostras de rocha britada são preparadas de acordo com as frações granulométricas obtidas pelas peneiras anteriormente citadas e em quantidades predefinidas. Devem ser preparadas três amostras para cada ensaio.

Um molde é fixado à base metálica juntamente com um cilindro complementar e o material é compactado nesse conjunto juntamente com um disco espaçador, como fundo falso, em cinco camadas iguais, de forma a se obter uma altura total do corpo-de-prova de cerca de 125mm, após compactação. Em cada camada são aplicados 26 golpes com o soquete padronizado, distribuídos uniformemente sobre a superfície da camada. Em seguida o cilindro complementar é removido. Com uma régua de aço biselada, o excesso de material é rasado na altura exata do molde e determina-se a massa do material compactado.

É calculada então a porcentagem passante em cada peneira do material após a compactação. Em seguida é calculada a média entre as três amostras das porcentagens passantes em cada peneira. Calcula-se também a diferença percentual (D) entre a média dos corpos-de-prova e a granulometria padrão original. O IDP é calculado pela expressão 3.5:

$$IDP = \frac{\sum D}{6} \quad (3.5)$$

A norma DNER-ME 399/99 descreve o método para determinar a perda ao choque em material pétreo britado, pelo emprego do aparelho Treton, em amostra obedecendo a uma faixa granulométrica padronizada.

O aparelho consiste de um cilindro de aço, oco, aberto em ambas as extremidades. O cilindro é colocado sobre uma chapa de base de aço, sobre a qual se assenta um outro cilindro maciço, também de aço, de tal forma que coincidam seus eixos de revolução. O cilindro oco é mantido em posição por pinos de aço fixados à chapa de base. Um martelo cilíndrico deverá cair livremente sobre a amostra a ensaiar, pelo orifício do cilindro, do topo deste. A suspensão do martelo far-se-á por quaisquer meios que garantam sua queda nas condições exigidas. A Figura 3.15 mostra um equipamento utilizado e fases do ensaio.



**Figura 3.15** Equipamento utilizado no ensaio Treton

(Fotos: Cabral, 2005)

A amostra para ensaio deve ser constituída de partículas passando na peneira de 19,0mm e retidas na peneira de 16,0mm, escolhidas as partículas de forma cúbica, bem angulares e aproximadamente do mesmo tamanho. A massa da amostra a ensaiar deve ser 50 vezes a massa específica aparente das partículas do agregado, sendo tolerada uma diferença de  $\pm 3g$ . O número de partículas para cada ensaio deve ser aproximadamente entre 15 e 20.

As partículas que compõem a amostra são colocadas no cilindro oco em contato com a face superior do cilindro maciço. Em seguida, deixa-se cair o martelo 10 vezes sobre o material. Após remover o cilindro maciço, as partículas restantes serão passadas através da peneira de 1,7mm. Pesa-se em seguida o material retido naquela peneira.

A diferença entre a massa original da amostra e a do material retido na peneira de 1,7mm será expressa como porcentagem da massa original da amostra, e anotada como a perda ao choque da amostra ensaiada. A perda ao choque do material ensaiado é a média aritmética dos resultados obtidos em no mínimo três ensaios.

A norma DNER-ME 96/98 descreve uma outra forma de ensaio para avaliar indiretamente a característica de qualidade de um agregado graúdo pela avaliação da resistência mecânica pelo método conhecido como dos 10% de finos. Consiste em se submeter uma porção de agregados passante na peneira de 12,5mm e retida na peneira de 9,5mm, em quantidade suficiente para preencher um cilindro padronizado, a um carregamento estático por meio de uma prensa capaz de aplicar cargas de no mínimo 500kN. Ao final desse carregamento faz-se novo peneiramento do material na peneira de 2,4mm, calculando-se a porcentagem de quebra eventual. Varia-se a carga aplicada até se obter por interpolação aquela que provoca 10% de quebra de grãos. A Figura 3.16 mostra uma foto do conjunto de cilindro e êmbolo utilizado nesse ensaio e a prensa.



**Figura 3.16** Conjunto de cilindro e êmbolo utilizado no ensaio de 10% de finos e prensa

(Fotos: Miceli, 2006)

A norma DNER-ME 401/99 estabelece o método pelo qual se determina o  $ID_{ML}$  e  $ID_M$  – índice de degradação após compactação Marshall, com ligante e sem ligante, para agregados naturais rochosos, obedecendo a uma granulometria padrão, definida pelas peneiras de 25,0mm, 19,0mm, 9,5mm, 4,8mm, 2,0mm, 0,42mm e 0,075mm. A compactação é feita usando-se o soquete e o molde de compactação do ensaio Marshall (ver Capítulo 5).

Os agregados são secos em estufa até constância de massa. Frações desses agregados são pesadas de acordo com quantidades preestabelecidas conforme cada faixa granulométrica, perfazendo um total de  $1.200g \pm 60g$ . São utilizados três corpos-de-prova para cada ensaio.

Os agregados são aquecidos à temperatura de 28°C acima da temperatura de aquecimento do ligante (ver Capítulo 5). Acrescentam-se 5% em peso de ligante aos agregados, misturando energicamente até o envolvimento completo dos mesmos. Coloca-se no molde Marshall a mistura de uma só vez. Aplica-se com soquete 50 golpes em cada face do corpo-de-prova.

Após a confecção dos corpos-de-prova, é procedida a extração do ligante pelo método DNER-ME 053/94 ou similar. Os agregados resultantes do ensaio de extração são submetidos a um peneiramento nas mesmas peneiras utilizadas para confecção dos corpos-de-prova, sendo que a porcentagem passante é tomada em relação à massa original dos

agregados. Calcula-se a porcentagem passante relativa a cada peneira e a porcentagem passante média das três amostras para cada peneira. Calcula-se também o valor D para cada peneira, correspondendo à diferença entre a média da granulometria após compactação e a granulometria original. O somatório das diferenças ( $\sum D$ ) também é calculado. O índice de degradação  $ID_{ML}$  é dado pela expressão 3.6:

$$ID_{ML} = \frac{\sum D}{6} \quad (3.6)$$

O índice de degradação após compactação Marshall sem ligante ( $ID_M$ ) segue os mesmos procedimentos anteriores, com exceção do aquecimento dos agregados e do uso de ligante. O cálculo do  $ID_M$  também é feito da mesma forma que o  $ID_{ML}$ .

Na Tabela 3.4 são apresentados os valores limites de aceitação sugeridos pelo IPR (1998).

**TABELA 3.4 MÉTODOS DE ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DE AGREGADOS E VALORES DE ACEITAÇÃO (IPR, 1998)**

Métodos de Ensaio	Valores Limites – Tentativa
DNER-ME 35/94 – Agregado – determinação da abrasão Los Angeles	LA ≤ 65%
DNER-ME 399/99 – Agregados – determinação da perda ao choque no aparelho Treton	T ≤ 60%
DNER-ME 96/98 – Agregado graúdo – avaliação da resistência mecânica pelo método dos 10% de finos	10% finos ≥ 60kN
DNER-ME 401/99 – Agregados – determinação do índice de degradação de rochas após compactação Marshall, com ligante – $ID_{ML}$ e sem ligante – $ID_M$	$ID_{ML}$ com ligante ≤ 5 $ID_M$ sem ligante ≤ 8
DNER-ME 398/99 – Agregados – determinação do índice de degradação após compactação Proctor – IDP	IDP ≤ 6
DNER-ME 397/99 – Agregados – determinação do índice de degradação Washington – IDW	IDW ≥ 30
DNER-ME 197/97 ou NBR 9938 – Agregados – determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos	E ≥ 60

### 3.4.4 Textura superficial

A textura superficial dos agregados influi na trabalhabilidade, na adesividade, e na resistência ao atrito e ao cisalhamento das misturas asfálticas para pavimentação. À medida que aumenta a rugosidade do agregado, há uma tendência de perda de trabalhabilidade da mistura asfáltica e de crescimento da resistência ao cisalhamento dessa mistura, bem como do teor de ligante asfáltico de projeto. Não há um método consagrado para medir a textura superficial, embora existam procedimentos de avaliação indireta, conforme será visto mais adiante.

### 3.4.5 Forma das partículas

A forma das partículas dos agregados influi na trabalhabilidade e resistência ao cisalhamento das misturas asfálticas e muda a energia de compactação necessária para se alcançar certa densidade. Partículas irregulares ou de forma angular tais como pedra britada, cascalhos e algumas areias de brita tendem a apresentar melhor intertravamento entre os grãos compactados, tanto maior quanto mais cúbicas forem as partículas e mais afiladas forem suas arestas.

A forma das partículas é caracterizada pela determinação do índice de forma ( $f$ ) em ensaio descrito no método DNER-ME 086/94. Esse índice varia de 0,0 a 1,0, sendo o agregado considerado de ótima cubicidade quando  $f = 1,0$  e lamelar quando  $f = 0,0$ . É adotado o limite mínimo de  $f = 0,5$  para aceitação de agregados quanto à forma. A Figura 3.17 mostra o equipamento utilizado para a determinação do índice de forma.



Figura 3.17 Exemplo de equipamento para determinação do índice de forma

A forma das partículas pode ser também caracterizada segundo a norma ABNT NBR 6954/1989, onde são medidas por meio de um paquímetro três dimensões das partículas: comprimento ( $a$ ), largura ( $b$ ) e espessura ( $c$ ). Para a classificação segundo a forma são determinadas e relacionadas entre si as razões  $b/a$  e  $c/b$ , conforme indica a Tabela 3.5. As partículas são classificadas em cúbica, alongada, lamelar e alongada-lamelar. As fotos da Figura 3.18 ilustram as diferenças entre agregados de forma lamelar e cúbica.

**TABELA 3.5 CLASSIFICAÇÃO DA FORMA DAS PARTÍCULAS (ABNT NBR 6954/1989)**

Média das Relações $b/a$ e $c/b$	Classificação da Forma
$b/a > 0,5$ e $c/b > 0,5$	Cúbica
$b/a < 0,5$ e $c/b > 0,5$	Alongada
$b/a > 0,5$ e $c/b < 0,5$	Lamelar
$b/a < 0,5$ e $c/b < 0,5$	Alongada-lamelar



(a) Agregado lamelar



(b) Agregado de boa cubicidade

**Figura 3.18 Exemplo de agregados com diferentes formas**

### 3.4.6 Absorção

A porosidade de um agregado é normalmente indicada pela quantidade de água que ele absorve quando imerso. Um agregado poroso irá também absorver ligante asfáltico, consumindo parte do ligante necessário para dar coesão a uma mistura asfáltica. Para compensar esse fato, deve-se incorporar à mistura asfáltica uma quantidade adicional de ligante.

A absorção é a relação entre a massa de água absorvida pelo agregado graúdo após 24 horas de imersão (DNER-ME 081/98) à temperatura ambiente e a massa inicial de material seco, sendo determinada para permitir o cálculo das massas específicas, real e aparente, do agregado.

Agregados naturais ou britados com elevada porosidade normalmente não devem ser utilizados em misturas asfálticas, pois além de consumirem maior quantidade de ligante asfáltico, podem apresentar porosidade variável conforme a amostragem, o que dificulta o estabelecimento do teor de ligante, podendo resultar em excesso ou falta do mesmo. Porém, nem sempre há outro agregado disponível, sendo então necessários alguns cuidados na dosagem. A escória de aciaria, a laterita e alguns tipos de basaltos e agregados sintéticos são exemplos de materiais que podem apresentar alta porosidade.

### 3.4.7 Adesividade ao ligante asfáltico

O efeito da água em separar ou descolar a película de ligante asfáltico da superfície do agregado pode torná-lo inaceitável para uso em misturas asfálticas. Esse agregado é denominado de hidrófilo. Agregados silicosos, como o quartzito e alguns granitos, são exemplos de agregados que requerem atenção quanto à sua adesividade ao ligante asfáltico. Agregados com alta adesividade em presença de água são denominados de hidrofóbicos e são aceitáveis para utilização em misturas asfálticas.

Os ensaios para determinação das características de adesividade podem ser subdivididos em dois grupos: aqueles que avaliam o comportamento de partículas de agregados recobertas por ligante asfáltico e aqueles que avaliam o desempenho de determinadas propriedades mecânicas de misturas sob a ação da água.

No método DNER-ME 078/94 a mistura asfáltica não-compactada é imersa em água e as partículas cobertas pelo ligante asfáltico são avaliadas visualmente. Na norma ASTM D 1075 a resistência à compressão simples ( $RC'$ ) de amostras de misturas compactadas após imersão em água a 50°C durante 24 horas é comparada com a resistência de amostras idênticas não-imersas ( $RC$ ). A redução da resistência à compressão simples é uma indicação da qualidade do agregado em relação à adesividade. A relação de perda de resistência pelo efeito da água é dada por  $RC'/RC$ . Para que se considere aceitável a mistura quanto à adesividade, essa relação deve ser superior ou igual a 0,75, ou seja, a perda deve ser menor ou igual a 25%.

Outro método de ensaio é o Lottman modificado, descrito na norma AASHTO T 283, onde amostras compactadas cilíndricas regulares de misturas asfálticas com teores de vazios preestabelecidos são parcialmente saturadas com água e submetidas a baixas temperaturas para congelamento durante um período de horas estabelecido em norma, simulando com isso a presença de água na mistura e tensões internas induzidas por cargas do tráfego. As amostras descongeladas e à temperatura de equilíbrio de 25°C são submetidas ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral ( $RT'$ ); outro conjunto similar de amostras compactadas cilíndricas regulares, não submetidas ao processo de saturação e congelamento, são igualmente submetidas ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral ( $RT$ ) à temperatura de 25°C. A relação entre  $RT'/RT$  indica a perda de resistência por umidade induzida. Essa relação deve ser maior ou igual a 0,70, ou seja, a perda deve ser inferior ou igual a 30%. Esse ensaio é descrito em maior detalhe no Capítulo 6.

### 3.4.8 Sanidade

Alguns agregados que inicialmente apresentam boas características de resistência podem sofrer processos de desintegração química quando expostos às condições ambientais no pavimento. Determinados basaltos, por exemplo, são suscetíveis à deterioração química com formação de argilas.

A característica de resistência à desintegração química é quantificada através de ensaio que consiste em atacar o agregado com solução saturada de sulfato de sódio ou de

magnésio, em cinco ciclos de imersão com duração de 16 a 18 horas, à temperatura de 21°C, seguidos de secagem em estufa. A perda de massa resultante desse ataque químico ao agregado deve ser de no máximo 12%. O método DNER-ME 089/94 apresenta o procedimento desse ensaio. A Figura 3.19 mostra os materiais utilizados nesse ensaio e um exemplo do resultado do teste.



Figura 3.19 Exemplo de materiais utilizados no ensaio de sanidade e resultado

### 3.4.9 Densidade específica/massa específica

Segundo Pinto (2000), as relações entre quantidade de matéria (massa) e volume são denominadas *massas específicas*, e expressas geralmente em  $t/m^3$ ,  $kg/dm^3$  ou  $g/cm^3$  e as relações entre pesos e volumes são denominados *pesos específicos* e expressos geralmente em  $kN/m^3$ .

A relação entre os valores numéricos que expressam as duas grandezas é constante. Por exemplo, se um material tem uma massa específica de  $1,8t/m^3$ , seu peso específico será o produto desse valor pela aceleração da gravidade, que varia conforme a posição no globo terrestre e que é de aproximadamente  $9,81m/s^2$  ao nível do mar (em problemas de engenharia prática, adota-se simplificada  $10m/s^2$ ). O peso específico será, portanto, de  $18kN/m^3$ .

Ou seja, o peso (P) de uma massa de 1kg ao nível do mar onde a aceleração da gravidade é de  $9,81m/s^2$  é:

$$P = 1\text{kg} \times 9,81\text{m/s}^2 = 9,81\text{N} \approx 10\text{N} \quad (3.7)$$

Assim tem-se que  $1\text{N} = 1\text{kg m/s}^2$ .

Então no exemplo citado tem-se:

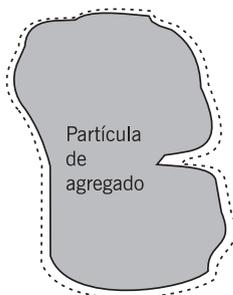
$$\begin{aligned} 1,8\text{t/m}^3 \times 10\text{m/s}^2 &= 18\text{t/m}^2\text{s}^2 = 18.000\text{kg/m}^2\text{s}^2 \times \text{m/m} = \\ &= 18.000\text{kg m/m}^3\text{s}^2 = 18.000\text{N/m}^3 = 18\text{kN/m}^3 \end{aligned} \quad (3.8)$$

Segundo Pinto (2000), a expressão *densidade*, de uso comum na engenharia, refere-se à massa específica, e *densidade relativa* é a relação entre a densidade do material e a densidade da água a 4°C. Como esta é igual a  $1\text{kg/dm}^3$ , resulta que a densidade relativa tem o mesmo valor numérico que a massa específica (expressa em  $\text{g/cm}^3$ ,  $\text{kg/dm}^3$  ou  $\text{t/m}^3$ ), mas é adimensional. Como a relação entre o peso específico de um material e o peso específico da água a 4°C é igual à relação das massas específicas, é comum se estender o conceito de densidade relativa à relação dos pesos e adotar-se como peso específico a densidade relativa do material multiplicada pelo peso específico da água.

No estudo de agregados, são definidas três designações de massa específica: real, aparente e efetiva, respectivamente correspondentes aos termos em inglês *apparent specific gravity*, *bulk specific gravity* e *effective specific gravity*. Observe-se que as traduções de *apparent* e *bulk* não são literais quando se consideram os parâmetros em questão, correspondendo aos termos *real* e *aparente*, respectivamente em português. Além disso, ressalte-se que *specific gravity* diz respeito a uma grandeza adimensional, enquanto *density* refere-se a uma grandeza com dimensão, portanto, o oposto ao que se usa no Brasil. De qualquer forma, quando se usa o sistema internacional de unidades, massa específica e densidade possuem o mesmo valor numérico, conforme exemplificado anteriormente.

### **Massa específica real**

A massa específica real ( $G_{sa}$ ), em  $\text{g/cm}^3$ , é determinada através da relação entre a massa seca e o volume real (expressão 3.9). O volume real é constituído do volume dos sólidos, desconsiderando o volume de quaisquer poros na superfície, conforme esquema da Figura 3.20.



**Figura 3.20** Esquema da partícula de agregado na determinação da  $G_{sa}$

$$G_{sa} = \frac{\text{Massa seca}}{\text{Vol. real}} \quad (3.9)$$

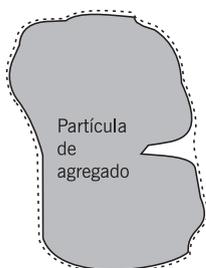
Onde:

Vol. real = volume da partícula sólida do agregado (área interna ao tracejado).

Segundo o Asphalt Institute (1989), esse parâmetro considera somente o volume da partícula do agregado. Não inclui o volume de quaisquer poros ou capilares que são preenchidos pela água após embebição de 24 horas.

### **Massa específica aparente**

A massa específica aparente ( $G_{sb}$ ), em  $\text{g/cm}^3$ , é determinada quando se considera o material como um todo (forma aparente), sem descontar os vazios. É determinada dividindo-se a massa seca pelo volume aparente do agregado (expressão 3.10), que inclui o volume de agregado sólido mais o volume dos poros superficiais contendo água. É medida quando o agregado está na condição superfície saturada seca (SSS), de acordo com o esquema da Figura 3.21. Esta condição em laboratório é obtida por remoção cuidadosa manual da água da superfície dos agregados com o uso de um tecido absorvente.



**Figura 3.21** Esquema da partícula de agregado na determinação da  $G_{sb}$

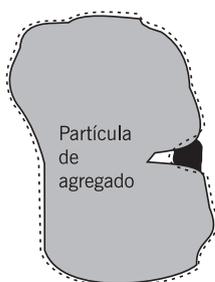
$$G_{sb} = \frac{\text{Massa seca}}{\text{Vol. aparente}} \quad (3.10)$$

Onde:

Vol. aparente = volume do sólido + volume do poro permeável à água (área interna ao tracejado).

### **Massa específica efetiva**

A massa específica efetiva ( $G_{se}$ ), em  $\text{g/cm}^3$ , é determinada quando se trabalha com misturas asfálticas cujo teor de ligante asfáltico seja conhecido. É calculada através da relação entre a massa seca da amostra e o volume efetivo do agregado, conforme a expressão 3.11. O volume efetivo é constituído pelo volume do agregado sólido e o volume dos poros permeáveis à água que não foram preenchidos pelo asfalto, como mostra a Figura 3.22. A massa específica efetiva não é comumente medida diretamente, sendo freqüentemente tomada como a média entre a massa real e a aparente. Essa prática só é adequada quando o volume de poros superficiais é baixo, ou seja, para agregados de baixa absorção, ou seja, inferior a 2%.



**Figura 3.22** Esquema da partícula de agregado na determinação da  $G_{se}$

$$G_{se} = \frac{\text{Massa seca}}{\text{Vol. efetivo}} \quad (3.11)$$

Onde:

Vol. efetivo = vol. do sólido + vol. dos poros permeáveis à água não preenchidos pelo ligante asfáltico (área interna ao tracejado).

O método de ensaio DNER-ME 081/98 especifica a determinação das massas específicas de agregados graúdos, utilizando a terminologia de densidade relativa. A norma ABNT NBR NM 53/2003 define procedimento para a obtenção da massa específica na condição seca (correspondente ao que vem sendo chamado aqui de  $G_{sa}$ ) e massa específica na condição de superfície saturada seca (correspondente ao que vem sendo chamado aqui de  $G_{sb}$ ), assim como da absorção ( $a$ ). O referido procedimento de ensaio é idêntico ao do DNER. São feitas três determinações de massa: massa seca (A), massa na condição superfície saturada seca (B) e massa imersa (C). A expressão 3.12 define, segundo a ABNT NM53/2003 – errata 2006, a massa específica seca ( $G_{sa}$ ):

$$G_{sa} = \frac{A}{A - C} \quad (3.12)$$

A expressão 3.13 define, segundo a ABNT NM 53/2003 – errata 2006, a massa específica da condição de superfície saturada seca ( $G_{sb}$ ):

$$G_{sb} = \frac{A}{B - C} \quad (3.13)$$

A absorção, em porcentagem, é determinada pela seguinte expressão:

$$a = \frac{B - A}{A} \times 100 \quad (3.14)$$

A Figura 3.23 mostra esquematicamente a determinação das massas A, B e C para o cálculo da  $G_{sa}$ ,  $G_{sb}$  e absorção ( $a$ ).

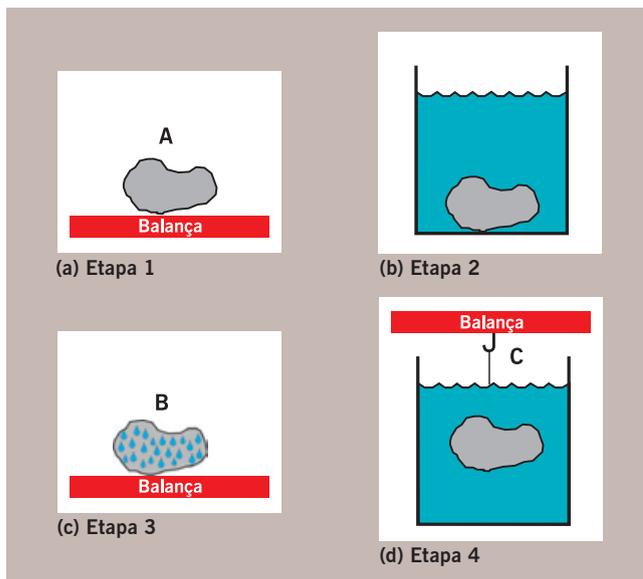


Figura 3.23 Esquema de determinação de massas no método ABNT NM 53/2003 – errata 2006

O método de ensaio DNER-ME 084/95 é adotado para a determinação da massa específica de agregados miúdos, com a denominação de densidade real dos grãos ( $D_r$ ). Esse procedimento é semelhante ao do ensaio para determinação da massa específica aparente seca ( $G_{sa}$ ) de solos (DNER-ME 093/94) e faz uso de um picnômetro de 50ml. A Figura 3.24 mostra um esquema desse ensaio. A norma ABNT NBR NM 52/2003 também descreve este procedimento.

No caso do agregado miúdo, a condição de superfície saturada seca não é fácil de ser observada visualmente como no agregado graúdo e, portanto, a possível absorção das partículas não é determinada no método DNER. No caso do método ASTM C 127 ou AASHTO T 85 é recomendado o procedimento mostrado na Figura 3.25. A condição de superfície saturada seca é obtida quando um tronco de cone de agregado resultante da moldagem com um molde padronizado mantém-se intacto após ser desmoldado. Assim, é possível calcular também a absorção dos agregados miúdos.

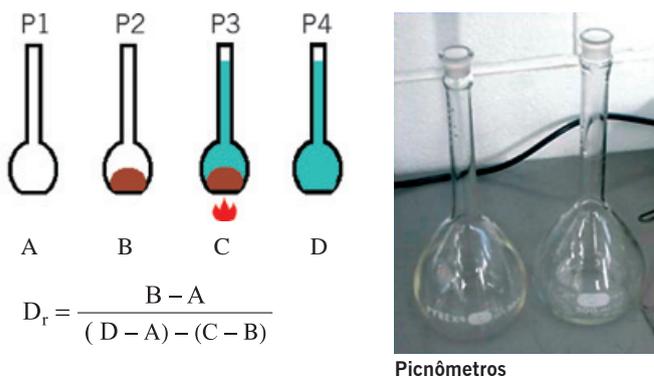


Figura 3.24 Esquema do ensaio de massa específica de agregados miúdos



**Figura 3.25** Esquema do ensaio de massa específica de agregados miúdos considerando a absorção pelo método ASTM C 127

(Fotos: Mourão, 2003)

Quando se trabalha com uma mistura de duas ou mais frações (ou dois ou mais agregados), pode-se computar um valor para a massa específica média através de um valor ponderado das várias frações (agregados) que constituem a mistura, pela expressão 3.15:

$$G = \frac{M1 + M2 + \dots + Mn}{\frac{M1}{G1} + \frac{M2}{G2} + \dots + \frac{Mn}{Gn}} = \frac{I}{\frac{\%1}{G1} + \frac{\%2}{G2} + \dots + \frac{\%n}{Gn}} \quad (3.15)$$

Onde:

G = massa específica média;

G1, G2, ..., Gn = massas específicas das frações (agregados) 1, 2, ..., n (aparente ou real);

M1, M2, ..., Mn = massa das frações (agregados) 1, 2, ..., n;

%1, %2, ..., %n = porcentagem das massas das frações (agregados) 1, 2, ..., n.

Em relação aos valores de G1, G2, ..., Gn usados na expressão 3.15, quando se destina à dosagem de uma mistura asfáltica, Pinto (1998) recomenda que sejam obtidos pela média entre a massa específica real e a aparente para agregados graúdos e miúdos e pelo valor da massa específica real para o fíler mineral usado. No Capítulo 5 será discutida ainda uma outra maneira de se levar em conta a porosidade dos agregados.

## 3.5 CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS SEGUNDO O SHRP

Segundo pesquisadores do SHRP, há um consenso de que as propriedades dos agregados têm influência direta no comportamento dos revestimentos asfálticos quanto a deformações permanentes, e afetam, embora em menor grau, o comportamento relacionado ao trincamento por fadiga e por baixas temperaturas. Esses pesquisadores identificaram duas categorias de propriedades dos agregados que devem ser consideradas: propriedades de consenso e propriedades de origem.

### 3.5.1 Propriedades de consenso

As propriedades designadas de consenso pelos pesquisadores do SHRP são aquelas consideradas de exigência fundamental para o bom desempenho dos revestimentos asfálticos: angularidade do agregado graúdo; angularidade do agregado miúdo; partículas alongadas e achatadas; e teor de argila.

Os valores especificados dessas propriedades também foram consensuais, ficando a critério de cada estado americano quaisquer exigências adicionais. Os critérios de aceitação são baseados no nível de tráfego, referido ao número equivalente de passagens de eixo padrão (N) determinado pela American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), e pela posição na estrutura do pavimento em que vai ser empregado o agregado. Materiais próximos à superfície e sujeitos a tráfego intenso demandam valores de propriedades de consenso mais restritivos.

#### *Angularidade do agregado graúdo*

A angularidade do agregado graúdo garante o atrito entre as partículas que propicia a resistência à deformação permanente. É definida como a porcentagem em peso de agregados maiores do que 4,75mm com uma ou mais faces fraturadas. A Tabela 3.6 apresenta os valores mínimos necessários da angularidade do agregado graúdo em função do nível de tráfego e da posição em que vai ser utilizado na estrutura do pavimento.

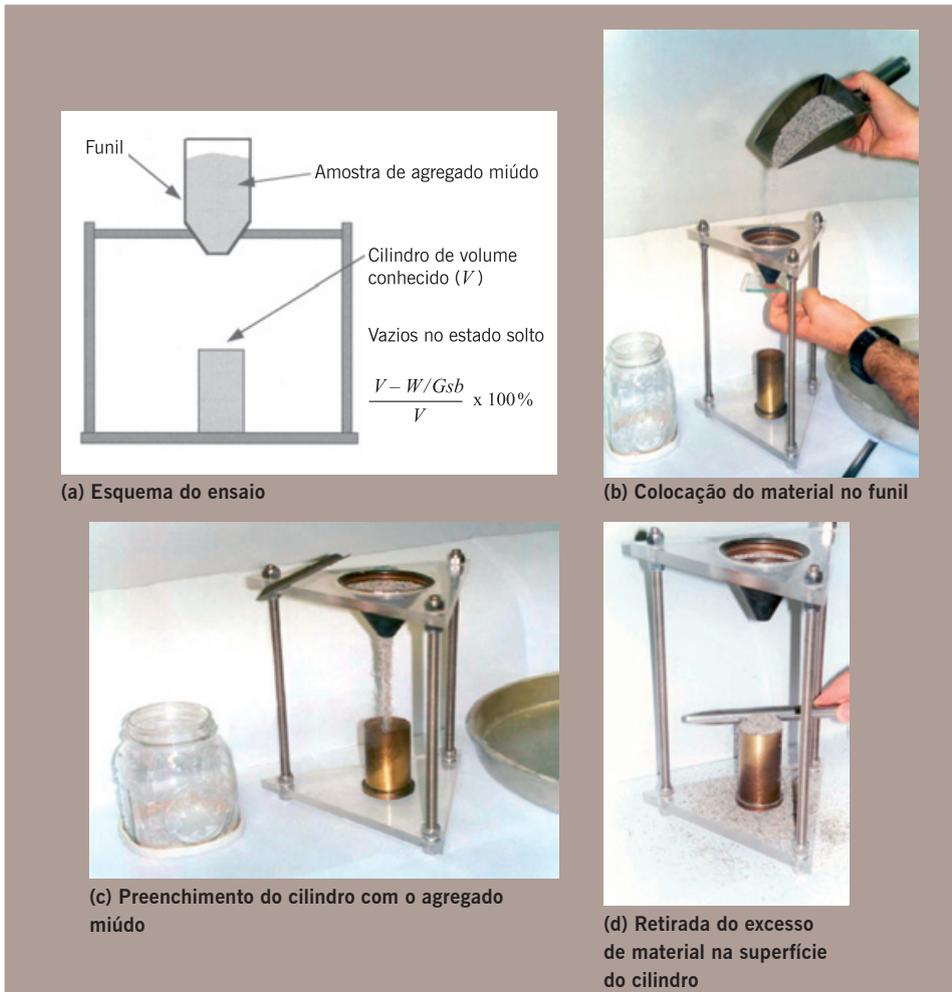
**TABELA 3.6 CRITÉRIO DE DEFINIÇÃO DA ANGULARIDADE DO AGREGADO GRAÚDO**

N ( $\times 10^6$ ) Repetições do eixo padrão	Profundidade a partir da superfície	
	$\leq 100\text{mm}$	$> 100\text{mm}$
$< 0,3$	55 / –	– / –
$< 1$	65 / –	– / –
$< 3$	75 / –	50 / –
$< 10$	85 / 80	60 / –
$< 30$	95 / 90	80 / 75
$< 100$	100 / 100	95 / 90
$\geq 100$	100 / 100	95 / 90

“85 / 80” significa que 85% do agregado graúdo têm uma ou mais faces fraturadas e 80% têm duas ou mais faces fraturadas.

### Angularidade do agregado miúdo

A angularidade do agregado miúdo garante o atrito entre as partículas que propicia a resistência à deformação permanente. É definida como a porcentagem de vazios de ar presentes em agregados com tamanhos de partículas menores que 2,36mm, em uma condição de estado solto. Sua determinação é feita segundo o método ASTM C 1252. A Figura 3.26 mostra o equipamento utilizado, onde  $W$  é a massa de agregado miúdo que preenche um cilindro de volume conhecido  $V$  e  $G_{sb}$  é a massa específica real do agregado miúdo. Um estudo desse ensaio para algumas areias do estado de São Paulo foi feito por Gouveia (2002). As areias britadas em geral obedecem bem a essa exigência.



**Figura 3.26** Equipamento para determinação da angularidade do agregado miúdo

(Fotos: Marques, 2001)

A Tabela 3.7 apresenta os valores mínimos necessários da angularidade do agregado miúdo em função do nível de tráfego e da posição em que vai ser utilizado na estrutura do pavimento.

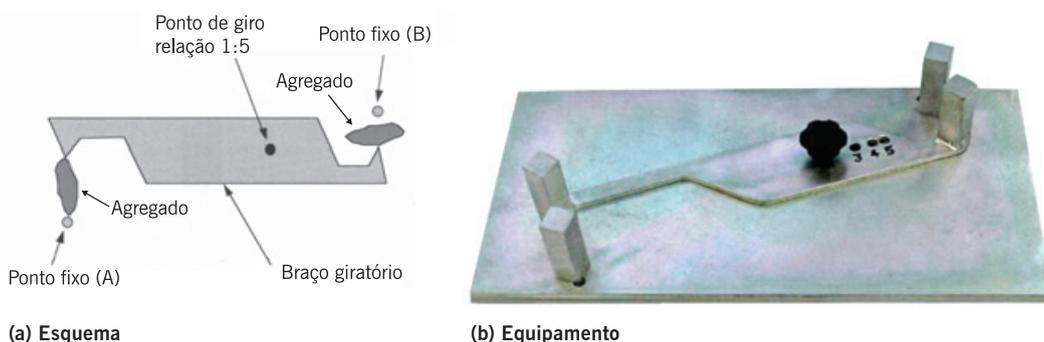
**TABELA 3.7 CRITÉRIO DE DEFINIÇÃO DA ANGULARIDADE DO AGREGADO MIÚDO – VALORES MÍNIMOS**

N ( $\times 10^6$ ) Repetições do eixo padrão	Profundidade a partir da superfície	
	$\leq 100\text{mm}$	$> 100\text{mm}$
$< 0,3$	–	–
$< 1$	40	–
$< 3$	40	40
$< 10$	45	40
$< 30$	45	40
$< 100$	45	45
$\geq 100$	45	45

Valores são porcentagens mínimas requeridas de vazios de ar no agregado miúdo no estado solto

**Partículas alongadas e achatadas**

Partículas alongadas e achatadas são expressas pela porcentagem em massa de agregado graúdo que tem a razão entre a dimensão máxima e a dimensão mínima maior do que 5, sendo indesejáveis porque têm a tendência de quebrarem durante o processo de construção e sob a ação do tráfego. Essa razão é determinada através do método ASTM D 4791 na fração do agregado graúdo maior do que 4,75mm. A Figura 3.27 mostra o equipamento utilizado.



**Figura 3.27 Medição de partículas alongadas e achatadas**

São medidos dois valores nesse ensaio: a porcentagem de partículas alongadas e a porcentagem de partículas achatadas. A Tabela 3.8 apresenta os valores máximos admissíveis de partículas alongadas e achatadas do agregado graúdo em função do nível de tráfego.

**TABELA 3.8 VALORES MÁXIMOS PERCENTUAIS DE PARTÍCULAS ALONGADAS E ACHATADAS**

N ( $\times 10^6$ ) Repetições do eixo padrão	Máximo (%)
< 0,3	–
< 1	–
< 3	10
< 10	10
< 30	10
< 100	10
$\geq 100$	10

### *Teor de argila*

O teor de argila é definido como a porcentagem de material argiloso na fração do agregado menor do que 4,75mm. É determinada pelo ensaio de equivalente de areia. A Tabela 3.9 apresenta os valores mínimos admissíveis de equivalente de areia em função do nível de tráfego.

**TABELA 3.9 VALORES MÍNIMOS PERCENTUAIS DE EQUIVALENTE DE AREIA**

N ( $\times 10^6$ ) Repetições do eixo padrão	Equivalente de areia, mínimo, %
< 0,3	40
< 1	40
< 3	40
< 10	45
< 30	45
< 100	50
$\geq 100$	50

### **3.5.2 Propriedades de origem**

São propriedades que dependem da origem do agregado; seus valores limites para aceitação são definidos localmente pelos órgãos ou agências. Essas propriedades são a resistência à abrasão, a sanidade e a presença de materiais deletérios, determinadas conforme os métodos descritos anteriormente.

## BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA

- AASHTO – AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO T 283/89: *resistance of compacted bituminous mixture to moisture induced damage*. USA, 1989.
- \_\_\_\_\_. AASHTO T 85: standard method of test for specific gravity and absorption of coarse aggregate. USA, 1991.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6954: *lastro padrão: determinação da forma do material*. Rio de Janeiro, 1989.
- \_\_\_\_\_. NBR NM 52: *agregado miúdo: determinação de massa específica e massa específica aparente*. Rio de Janeiro, 2003.
- \_\_\_\_\_. NBR NM 53: *agregado graúdo: determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água*. Rio de Janeiro, 2003.
- \_\_\_\_\_. NBR 9935: *agregados: terminologia*. Rio de Janeiro, 2005.
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 1252: *standard test methods for uncompacted void content of fine aggregate (as influenced by particle shape, surface texture and grading)*. USA, 1993.
- \_\_\_\_\_. ASTM C 702: standard practice for reducing samples of aggregate to testing size. USA, 1998.
- \_\_\_\_\_. ASTM D 1075-96: *standard test method for effects of water on compressive strength of compacted bituminous mixtures*. USA, 2000.
- \_\_\_\_\_. ASTM D 4791-99: *standard test method for flat particles, elongated particles, or flat and elongated particles in coarse aggregate*. USA, 2000.
- \_\_\_\_\_. ASTM C 127: *standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate*. USA, 2004.
- \_\_\_\_\_. ASTM C 125: *standard terminology relating to concrete and concrete aggregates*. USA, 2005.
- ASPHALT INSTITUTE. *The asphalt handbook*. Manual series n. 4 (MS-4), 1989.
- \_\_\_\_\_. *Superpave level 1 – mix design*. Superpave Series n. 2 (SP-2), 1995.
- CABRAL, G.L.L. *Metodologia de produção e emprego de agregados de argila calcinada para pavimentação*. 2005. Dissertação (Mestrado) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2005.
- DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNER-IE 006/94: *materiais rochosos usados em rodovias: análise petrográfica*. Rio de Janeiro, 1994.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 053/94: *misturas betuminosas: percentagem de betume*. Rio de Janeiro, 1994.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 078/94: *agregado graúdo: adesividade a ligante betuminoso*. Rio de Janeiro, 1994.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 086/94: *agregado: determinação do índice de forma*. Rio de Janeiro, 1994.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 089/94: *agregados: avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio*. Rio de Janeiro, 1994.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 093/94: *solos: determinação da densidade real*. Rio de Janeiro, 1994.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 222/94: *agregado sintético fabricado com argila: desgaste por abrasão*. Rio de Janeiro, 1994.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 035/95: *peneiras de malhas quadradas para análise granulométrica de solos*. Rio de Janeiro, 1995.

- \_\_\_\_\_. DNER-ME 084/95: *agregado miúdo: determinação da densidade real*. Rio de Janeiro, 1995.
- \_\_\_\_\_. DNER-PRO 199: *redução de amostras de campo de agregados para ensaio de laboratório*. Rio de Janeiro, 1996.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 054/97: *equivalente de areia*. Rio de Janeiro, 1997.
- \_\_\_\_\_. DNER-PRO 120/97: *coleta de amostras de agregados*. Rio de Janeiro, 1997.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 197/97: *agregados: determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos*. Rio de Janeiro, 1997.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 367/97: *material de enchimento para misturas betuminosas*. Rio de Janeiro, 1997.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 035/98: *agregados: determinação da abrasão Los Angeles*. Rio de Janeiro, 1998.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 081/98: *agregados: determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo*. Rio de Janeiro, 1998.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 083/98: *agregados: análise granulométrica*. Rio de Janeiro, 1998.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 096/98: *agregado graúdo: avaliação da resistência mecânica pelo método dos 10% de finos*. Rio de Janeiro, 1998.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 397/99: *agregados: determinação do índice de degradação Washington – IDW*. Rio de Janeiro, 1999.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 398/99: *agregados: determinação do índice de degradação após compactação Proctor IDP*. Rio de Janeiro, 1999.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 399/99: *agregados: determinação da perda ao choque no aparelho Tretton*. Rio de Janeiro, 1999.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 400/99: *agregados: desgaste após fervura de agregado pétreo natural*. Rio de Janeiro, 1999.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 401/99: *agregados: determinação do índice de degradação de rochas após compactação Marshall, com ligante – IDML e sem ligante – IDM*. Rio de Janeiro, 1999.
- \_\_\_\_\_. DNIT 031/04-ES: *pavimentos flexíveis: concreto asfáltico*. Rio de Janeiro, 2004.
- \_\_\_\_\_. *Manual de pavimentação*. 3. ed. Rio de Janeiro: DNIT/Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2005.
- FERNANDES, C.G. *Caracterização mecânica de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição dos municípios do Rio de Janeiro e de Belo Horizonte para uso em pavimentação*. 2004. 109 f. Dissertação (Mestrado) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- GOUVEIA, L.T. *Avaliação do ensaio de angularidade do agregado fino (FAA) da especificação Superpave*. 2002. 139 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
- GUIMARÃES, A.C.R.; MOTTA, L.M.G. Execução de revestimento asfáltico com agregado de laterita lavada no Acre. In: ENCONTRO DE ASFALTO, 13., 2000, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: IBP, 2000. p. 86-95.
- HUNTER, R.N. *Asphalts in road construction*. London: Thomas Telford Publishing, 2000.
- IPR – INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. *Estudos e pesquisas de rochas de pedreiras para estabelecimento de critérios de qualidade frente às normas e procedimentos existentes e sua aceitação*. Relatório final. ECL – Engenharia, Consultoria e Economia S.A. Rio de Janeiro, 1998.
- MARQUES, G.L.O. *Procedimentos de avaliação e caracterização de agregados minerais usados na pavimentação asfáltica*. Seminário de qualificação ao doutoramento – Coordenação

- dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.
- METSO MINERALS. *Manual de britagem*. 6. ed. São Paulo: Metso Brasil Indústria e Comércio Ltda., 2005.
- MOTTA, L.M.G.; LEITE, L.F.M. Efeito do fíler nas características mecânicas das misturas asfálticas. In: CONGRESSO PANAMERICANO DE ENGENHARIA DE TRÂNSITO E TRANSPORTE, 11., 2000, Gramado. *Anais...* Rio de Janeiro: ANPET, 2000. p. 1.007-17.
- NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D. *Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos*. São Paulo: Editora Vilibor, 1995.
- PINTO, C.S. *Curso básico de mecânica dos solos*. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.
- PINTO, S. *Materiais pétreos e concreto asfáltico: conceituação e dosagem*. Rio de Janeiro: IME, 1998.
- ROBERTS, F.L.; KANDHAL, P.S.; BROWN, E.R.; LEE, D-Y.; KENNEDY, T.W. *Hot mix asphalt materials, mixture design and construction*. 2. ed. Lanham, Maryland: Napa Research and Education Foundation, 1996.
- SHELL. *The Shell bitumen handbook*. 5. ed. London: Shell Bitumen/Thomas Telford Publishing, 2003.
- WAPA – WASHINGTON ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION. *The WAPA asphalt pavement guide*. Washington, DC, 2004.
- WOODS, K.B. *Highway engineering handbook*. New York: McGraw Hill, 1960.
- SILVA, P.B. *Estudo em laboratório e em campo de misturas asfálticas SMA 0/8S*. 2005. 132 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

### 3 AGREGADOS

Figura 3.1 Ilustração da análise por peneiramento	121
Figura 3.2 Graduações típicas de agregados	123
Figura 3.3 Esquema simplificado do processo de britagem (Roberts <i>et al.</i> , 1996)	125
Figura 3.4 Carregamento de um caminhão na pedreira	126
Figura 3.5 Exemplo de britador primário	126
Figura 3.6 Vista geral de uma instalação de britagem	127
Figura 3.7 Redução mecânica por impacto (Roberts <i>et al.</i> , 1996)	127
Figura 3.8 Redução mecânica combinando impacto e desgaste por atrito (Roberts <i>et al.</i> , 1996)	128
Figura 3.9 Redução mecânica combinando impacto, cisalhamento e compressão (Roberts <i>et al.</i> , 1996)	128
Figura 3.10 Redução mecânica por compressão e impacto em um britador de mandíbula que brita sem atrito (Roberts <i>et al.</i> , 1996)	129
Figura 3.11 Equipamento separador mecânico de amostras	131
Figura 3.12 Redução de amostra de agregado por quarteamento manual	132
Figura 3.13 Equipamentos para o ensaio de equivalente de areia e esquema da proveta com os materiais depositados para a leitura final	133
Figura 3.14 Equipamento para ensaio de abrasão Los Angeles	135
Figura 3.15 Equipamento utilizado no ensaio Treton	138
Figura 3.16 Conjunto de cilindro e êmbolo utilizado no ensaio de 10% de finos e prensa	139
Figura 3.17 Exemplo de equipamento para determinação do índice de forma	141
Figura 3.18 Exemplo de agregados com diferentes formas	142
Figura 3.19 Exemplo de materiais utilizados no ensaio de sanidade e resultado	144
Figura 3.20 Esquema da partícula de agregado na determinação da <i>G<sub>sa</sub></i>	145
Figura 3.21 Esquema da partícula de agregado na determinação da <i>G<sub>sb</sub></i>	146
Figura 3.22 Esquema da partícula de agregado na determinação da <i>G<sub>se</sub></i>	147
Figura 3.23 Esquema de determinação de massas no método DNER-ME 081/98	148
Figura 3.24 Esquema do ensaio de massa específica de agregados miúdos	148
Figura 3.25 Esquema do ensaio de massa específica de agregados miúdos considerando a absorção pelo método ASTM C 127	149
Figura 3.26 Equipamento para determinação da angularidade do agregado miúdo	151
Figura 3.27 Medição de partículas alongadas e achatadas	152
Tabela 3.1 Tipos de rochas comumente usados como fonte de agregados para pavimentação no país	118
Tabela 3.2 Classificação de rochas quanto ao teor de sílica presente (Metso Minerals, 2005)	119
Tabela 3.3 Dimensões nominais das peneiras segundo o DNER-ME 035/95	122

## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Tabela 3.4 Métodos de ensaio para determinação de características mecânicas de agregados e valores de aceitação (IPR, 1998)	140
Tabela 3.5 Classificação da forma das partículas (ABNT NBR 6954/1989)	142
Tabela 3.6 Critério de definição da angularidade do agregado graúdo	150
Tabela 3.7 Critério de definição da angularidade do agregado miúdo – valores mínimos	152
Tabela 3.8 Valores máximos percentuais de partículas alongadas e achatadas	153
Tabela 3.9 Valores mínimos percentuais de equivalente de areia	153

## ÍNDICE REMISSIVO DE TERMOS

### A

AASHTO, 287, 306, 346, 404, 406, 464  
abrasão, 116, 124, 133, 153, 187, 269, 273, 395  
abrasão Los Angeles, 134, 140, 261, 273, 327, 357  
absorção, 142, 149, 167, 216, 271, 435  
aderência, 165, 179, 403, 429, 430, 483  
adesão, 116, 187, 264, 273, 275, 280  
adesividade, 64, 118, 143, 328, 421  
afundamento de trilha de roda, 322, 417, 443  
afundamentos, 322, 414, 416, 417, 419, 424, 442, 443, 445  
agentes rejuvenescedores, 41, 99, 188, 190, 256, 473  
agregado, 115, 207  
  artificial, 119  
  britado, 124  
  gráudo, 120, 132, 139, 142, 150, 152  
  miúdo, 85, 120, 148, 150, 151  
  natural, 99, 116  
  propriedades (ver propriedades dos agregados)  
  reciclado, 116, 119, 351, 352, 355, 362  
alcatrão, 25, 26  
amostragem, 73, 130, 142, 387  
amostragem de agregados, 130  
análise granulométrica, 122, 132  
análise petrográfica, 117  
análise por peneiramento, 119, 121, 122, 125, 139  
angularidade de agregado, 150, 151, 152, 240, 261

ângulo de fase, 104, 260, 290, 303  
areia, 116, 119, 120, 141, 151, 164, 174, 341, 354, 356, 363, 430  
areia-asfalto, 174, 253, 328  
areia-cal-cinza volante, 356  
argila, 132, 143, 150, 153, 340, 341, 354, 358, 360, 363  
argila calcinada, 119, 134  
argila expandida, 119  
aromáticos, 27, 30, 37, 51, 64  
asfaltenos, 27, 30, 32, 68, 176  
asfalto, 25, 27, 30, 34, 41, 58, 100  
  asfalto-borracha, 75, 162, 165, 172, 302, 324, 377  
  asfaltos diluídos, 81, 96  
  asfalto-espuma, 38, 41, 97, 441  
  asfalto modificado por polímeros, 59, 63, 67, 69, 92, 162, 174, 377, 472  
  asfalto natural, 26  
  composição química, 27  
  especificação brasileira, 58, 61, 83, 94, 95, 96, 97, 99  
  especificação europeia, 62  
  especificação SHRP, 32, 100, 102, 103  
  produção, 32, 33, 34, 39  
  programa SHRP, 100  
  propriedades físicas-ensaios, 41  
  coesividade Vialit, 72  
  densidade relativa, 53  
  durabilidade, 49  
  dutilidade, 49  
  espuma, 53  
  estabilidade à estocagem, 72  
  fragilidade e tenacidade, 73  
  massa específica, 53  
  penetração, 42

  ponto de amolecimento, 48  
  ponto de fulgor, 52  
  ponto de ruptura Fraass, 54  
  recuperação elástica, 70  
  reômetro de cisalhamento dinâmico, 104  
  reômetro de fluência em viga (BBR), 106  
  retorno elástico, 70  
  separação de fases, 72  
  suscetibilidade térmica, 55  
  solubilidade, 49  
  tração direta (DTT), 108  
  vaso de envelhecimento sob pressão (PAV), 108  
  viscosidade, 43  
avaliação, 403, 441  
  de aderência em pistas molhadas, 429  
  estrutural, 9, 441, 463  
  funcional, 9, 403, 441, 463  
  objetiva, 424  
  subjativa, 404, 409

### B

“bacia de deflexão, bacia de deformação”, 445, 452  
basalto, 116, 118, 119, 142, 143  
base (camada de pavimento), 176, 183, 194, 337, 339  
base asfáltica, 176  
BBM, BBME, BBTM, BBUM, 176, 177, 179, 180, 181, 182  
betume (ver asfalto), 25, 26, 49  
bica corrida, 353, 357  
bombeamento de finos, 416, 423  
borracha (ver asfalto-borracha), 59, 62, 63, 65, 75  
brita graduada simples, 352, 353, 357

brita graduada tratada com cimento, 352, 356, 362  
britador, 124, 127  
britagem, 124  
Brookfield, 47  
buraco (panela), 415, 416, 422, 425

## C

camada(s)  
“de base; de sub-base”, 352  
“de dissipação de trincas (de absorção de trincas; anti-reflexão de trincas)”, 468, 469  
de módulo elevado, 162, 165, 176  
de reforço do subleito, 337, 339  
de rolamento (ver revestimento asfáltico), 9, 162, 176, 468, 473  
de revestimento intermediárias, 9, 162, 179, 183, 187, 253, 472  
intermediárias de alívio de tensões, 472  
porosa de atrito (ver revestimento drenante), 159, 161, 165, 253, 328, 434, 468  
superficiais de revestimentos delgados, 165, 179, 473  
caminhão espargidor, 393, 396  
Cannon-Fenske, 44, 45  
Cannon-Manning, 44, 45  
CAP (cimento asfáltico de petróleo) (ver asfalto)  
capa selante, 183, 193, 395  
cimento asfáltico de petróleo (ver asfalto)  
classificação de agregados, 116, 119, 142  
classificação de asfaltos, 41, 43, 60, 100  
classificação de defeitos, 415  
classificação de solos, 340, 341  
classificação de textura, 430, 432  
coesão (coesividade), 49, 72, 187, 194, 271, 338, 342, 352  
coletores de pó (filtros de manga), 380  
compactação, 389

compactador giratório (Superpave), 230, 232  
compatibilidade, 66, 67, 72, 129, 271  
compressão, 10, 127, 195, 289, 308, 311, 330, 338, 350, 352, 470  
compressão uniaxial não-confinada (*creep*), 317  
concreto asfáltico, 158, 159, 161, 162, 217, 302, 432, 468  
concreto asfáltico de módulo elevado, 162, 165, 176, 302, 311, 352  
concreto asfáltico delgado, 177, 178  
concreto asfáltico denso, 161, 162  
cone de penetração dinâmico (DCP), 345, 443, 444  
contrafluxo, 379, 383, 384  
corrugação, 415, 416, 420, 425, 427  
*creep*, 106, 317, 318, 319, 320, 321  
cura, 96, 254, 351, 363, 364, 397, 399  
curva de Fuller, 229  
curvas granulométricas (ver granulometria), 123, 261

## D

DCP (*dynamic cone penetrometer cone* de penetração dinâmico), 345, 444  
defeitos de superfície, 413, 414, 415, 416  
deflexão, 346, 443, 445, 446, 448, 454, 463, 464  
deformação, 43, 49, 104, 105, 304, 313, 315, 443  
deformação permanente (ver afundamento em trilha de roda), 316, 317, 320, 321, 322, 443  
degradação, 133, 134, 137, 139  
densidade (ver massa específica) específica, 144  
específica Rice, 210  
máxima medida, 209  
máxima teórica, 209  
relativa, 53, 145, 147

densímetro com fonte radioativa, 390  
densímetro eletromagnético, 390  
desagregação (ver desgaste, descolamento, *stripping*), 415, 416, 421, 422  
descolamento, 129, 419, 421  
desempenho, 101, 373, 401, 403, 441, 442, 457  
desgaste, 134, 135, 327, 415, 416, 421, 423  
deslocamento, 289, 291, 297, 298, 299, 300, 301, 318, 321, 346, 348, 421, 443, 445, 446  
diorito, 118, 119  
distribuidor de agregados, 197, 393  
dosagem, 157, 205, 217, 227, 229, 253, 256, 258, 259, 266, 269, 274, 277  
dosagem ASTM, 217, 235  
dosagem de misturas asfálticas recicladas a quente, 256  
dosagem Marshall, 206, 217, 224, 227  
dosagem Superpave, 229, 233, 259  
drenagem superficial, 264, 407  
DSC, 33, 58  
DSR, 104, 105  
DTT, 108, 109  
durabilidade, 49  
dureza, 124, 134, 178  
dureza dos agregados, 134

## E

elastômeros, 62, 63  
EME, 162, 165, 176, 178, 179, 180, 181, 182  
emulsão aniônica, 81, 84, 85  
emulsão asfáltica, 81, 82, 83, 84, 92, 93  
emulsão catiônica, 81, 82, 84  
endurecimento, 34, 49, 52, 108  
endurecimento do ligante asfáltico, 34, 51, 52  
ensaio  
azul-de-metileno, 187, 275, 279  
bandeja, 266, 267  
Cântabro, 167, 253, 328

carga de partícula, 86  
desemulsibilidade, 89  
determinação do pH, 92  
10% de finos, 134, 139, 140  
efeito do calor e do ar, 49  
equivalente de areia, 132, 133, 153  
espuma, 53  
estabilidade à estocagem, 67, 72  
flexão, 291, 303  
mancha de areia, 430, 431, 432  
pêndulo britânico, 430, 431  
peneiração, 88  
penetração, 42  
placa, 266  
ponto de amolecimento, 48  
ponto de fulgor, 52, 53  
ponto de ruptura Fraass, 54, 55  
recuperação elástica por torção, 78, 79  
resíduo por destilação, 90, 91  
resíduo por evaporação, 90  
sanidade, 143, 144  
Schulze-Breuer and Ruck, 188, 271, 272, 273  
sedimentação, 87  
separação de fases, 72, 73  
solubilidade, 49, 50  
tenacidade, 73, 74, 75  
tração direta, 108, 109  
tração indireta, 308  
Tretón, 137, 138  
viscosidade, 43, 45, 46, 91  
envelhecimento, 49, 50, 51, 52, 108  
escória de aciaria, 119, 355  
escória de alto-forno, 119  
escorregamento, 419, 420  
especificação brasileira de asfalto diluído, 96, 97  
especificação brasileira de emulsões asfálticas catiônicas, 84  
especificação brasileira de emulsões asfálticas modificadas por polímero, 94, 95  
especificação de emulsões asfálticas para lama asfáltica, 85  
especificações para cimento asfáltico de petróleo, 60

espuma de asfalto, 53, 192, 474  
estabilidade, 67, 72, 92, 121, 132, 222, 223, 288  
estocagem, 33, 36, 37, 38, 67, 72, 376, 384  
estufa de filme fino rotativo, 50, 51  
estufa de película fina plana, 50, 51  
EVA, 66, 67, 68  
expressão de Duriez, 255  
exsudação, 415, 416, 420

## F

fadiga, 288, 311, 312, 313, 315, 316, 445  
feldspato, 117, 119  
fendas, 117, 119  
fibras, 172, 252  
fíler, 120, 160  
filtro de mangas, 380  
fluência, 106, 222, 318  
fluxo paralelo, 379, 383  
forma dos agregados, 141, 142, 172  
fórmula de Vogt, 254  
fragilidade, 73  
fresadoras, 189, 192  
fresagem, 188, 190, 191, 468  
fundação, 337  
FWD, 445, 448, 450, 451, 452

## G

gabro, 118, 119  
GB, 176, 179, 180  
gel, 28, 30, 31  
geogrelhas, 471  
geossintéticos, 469  
geotêxteis, 469, 470  
gerência, 403, 413, 441  
gnaisse, 117, 118, 362  
graduação, 122, 123, 131, 159, 161, 169, 172, 183, 229, 264, 323  
graduação aberta, 122, 159  
graduação com intervalo, 172  
graduação densa, 122, 159  
graduação descontínua, 159  
graduação do agregado, 159  
graduação uniforme, 123

gráfico de Heukelom, 56, 57  
granito, 117, 118, 119  
grau de compactação, 389  
grau de desempenho, 101, 259  
grumos, 88, 89, 132, 213, 216

## H

hidrocarbonetos, 25, 27, 30, 33, 37  
hidroplanagem, 429, 433  
histórico, 11, 16  
Hveem, 50, 291, 346

## I

IBP, 70, 80, 99, 291  
IFI, 434  
IGG, 415, 424, 427, 428, 429  
IGI, 427, 428  
impacto, 72, 127, 128, 205, 206, 448  
imprimação, 97, 414  
índice de atrito internacional, 434  
índice de degradação após compactação Marshall, 139, 140  
índice de degradação após compactação Proctor, 137  
índice de degradação Washington, 136  
índice de forma, 141, 264  
índice de gravidade global, 415, 424, 428  
índice de gravidade individual, 427, 428  
índice de irregularidade internacional, 407  
índice de penetração, 55, 56  
índice de suporte Califórnia, 342  
índice de susceptibilidade térmica, 41  
IRI, 407, 408, 413  
irregularidade, 404, 405, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413  
irregularidade longitudinal, 407, 410  
  
**J**  
juntas, 76, 469, 472

## L

lama asfáltica, 85, 185, 186, 187, 269, 277, 397  
laterita, 119, 355, 362  
ligantes asfálticos modificados com polímeros, 59, 63, 69, 473  
limpeza, 132, 167, 386  
Lottman, 143  
LWT, 185, 187, 197, 198, 269, 270, 271, 275

## M

macadame betuminoso, 194, 195, 352  
macadame hidráulico, 352, 353, 357  
macadame seco, 353, 357, 358  
macromoléculas, 59  
macrotextura, 430, 432, 433  
maltenos, 27, 30, 68  
manutenção, 406, 407, 413, 441  
manutenção preventiva, 406, 407, 441  
massa específica, 53, 54, 144, 145, 148, 149, 237, 389, 390, 443  
massa específica aparente, 146, 207, 208, 209  
massa específica efetiva, 146, 211  
massa específica máxima medida, 209, 211, 214  
massa específica máxima teórica, 209  
massa específica real, 145  
materiais asfálticos, 10, 352  
materiais estabilizados granulometricamente, 358  
material de enchimento, 120, 185, 358  
matriz pétreo asfáltica, 159, 168  
Mecânica dos Pavimentos, 10, 339, 453  
megatextura, 430  
método Marshall, 205, 217, 227, 228  
metodologia MCT, 359, 360, 361  
microrrevestimento, 186, 269, 274, 397  
microtextura, 430, 431

mistura asfáltica, 26, 157, 205, 373  
misturas asfálticas drenantes, 179  
módulo complexo, 104, 303, 305, 306  
módulo de resiliência, 291, 294, 296, 297, 300, 301, 345, 346, 348, 349  
módulo de rigidez, 106  
módulo dinâmico, 304, 306  
multidistribuidor, 395

## O

ondulações transversais, 415  
osmometria por pressão de vapor, 28  
oxidação, 34, 50

## P

panela, 415, 416, 422, 427  
parafinas, 33, 58  
partículas alongadas e achatadas, 150, 152, 153  
PAV, 108  
pavimentação, 10, 20, 25, 373, 403  
pavimentos asfálticos, 9, 10, 337, 338, 365, 366, 367, 368, 441  
pavimentos de concreto de cimento Portland, 9, 338  
pavimentos flexíveis, 337, 415  
pavimentos rígidos, 337  
pedregulhos, 115, 116  
pedreira, 124, 126  
peneiramento, 88, 121, 122, 125  
peneiras, dimensões, 122  
penetração, 10, 42, 43, 55, 56, 58, 194, 343, 393, 443  
penetrômetro de cone dinâmico, 345  
percolação, 159, 165  
perda ao choque, 137, 138  
perda por umidade induzida, 328  
perfilômetro, 408, 409  
permeabilidade, 165, 166, 183  
petróleo, 25, 33, 96  
PG, 101, 102, 103, 259, 260  
pH, 86, 92  
pintura de ligação, 414, 420, 422

plastômeros, 65, 68  
PMF, 183, 184, 253, 255  
pó, 65, 76, 120, 132, 195, 198, 380  
pó de pedra, 120, 184, 274  
polimento, 117, 421, 433  
ponto de amolecimento, 33, 48, 55, 100  
ponto de amolecimento anel e bola, 48  
pré-misturado, 10, 385, 468, 472  
processo estocável, 76  
processo seco, 76, 78, 80  
processo úmido, 76  
produção de asfalto, 27, 35, 36, 37, 38  
propriedades físicas, 41, 126, 129

## Q

QI, 412, 413  
quarteamento, 131, 132  
quartzito, 118, 119  
quartzito, 117, 118, 119  
quociente de irregularidade, 412, 413

## R

raio de curvatura, 446, 447, 449, 454  
RASf, 37, 178  
recapeamento, 441, 468, 469, 470, 471, 472  
reciclado, 116, 119, 261, 352, 355  
reciclagem, 53, 99, 119, 188, 190, 191, 352, 441, 473, 474  
reciclagem em usina, 191  
reciclagem *in situ*, 191, 192, 474  
reconstrução, 22, 406, 441  
recuperação elástica, 69, 70, 71, 78, 79, 80, 300, 472  
refino do petróleo, 33, 35, 36, 37, 38, 39  
reforço, 9, 337, 339, 342, 352, 365, 424, 441, 453, 468  
rejeitos, 352  
remendo, 416, 422  
reologia, 30, 259  
reômetro de cisalhamento dinâmico, 103, 104

reômetro de fluência em viga, 103, 106  
reperfilagem, 467, 468  
resíduo, 34, 75, 87, 89, 90, 91, 120, 178, 355  
resíduo de vácuo, 34, 36  
resinas, 28, 30  
resistência, 67, 133, 143, 150, 165, 176, 251, 302, 308, 327, 342, 351, 431  
resistência à abrasão, 133, 134, 153, 264, 269  
resistência à deformação permanente, 67, 150, 165, 179  
resistência à fadiga, 67, 179  
resistência à tração estática, 249, 288, 308  
resistência à tração retida, 251  
resistência ao atrito, 119, 140  
resistência ao trincamento por fadiga, 178, 315  
ressonância nuclear magnética, 28, 72  
restauração, 176, 185, 188, 406, 407, 413, 441, 442, 463, 466, 467, 468  
retorno elástico, 68, 70, 79  
retroanálise, 452, 453, 454, 455, 456, 457  
revestimento asfáltico drenante, 165  
revestimentos asfálticos, 10, 157, 164, 205, 373, 473  
revestimentos delgados, 165, 179, 473  
RNM, 28, 72  
rochas ígneas, 116, 117, 118  
rochas metamórficas, 116  
rochas sedimentares, 116  
rolagem, 206, 390, 391, 392, 393  
rolo compactador, 390, 391, 392, 393  
rolos compactadores estáticos, 390  
rolos compactadores vibratórios, 391  
rolos de pneus, 390  
RTFOT, 50, 51, 103, 108  
ruído, 165, 172, 179, 435, 436, 437  
ruptura da emulsão, 87, 92  
RV, 36, 103

## S

SAMI, 472  
SARA, 27, 28, 29  
saturados, 27, 28, 30, 32  
Saybolt-Furoil, 46, 91, 219  
SBR, 66, 92, 94  
SBS, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 95  
Schellenberg, 252  
secador, 377, 378, 379, 380, 383  
secador de contrafluxo, 379  
secador de fluxo paralelo, 379, 383  
segmentos homogêneos, 463, 464, 465, 466  
segregação, 120, 123, 130, 172, 386, 393, 423  
segurança, 52, 97, 100, 403, 429  
selagem de trincas, 466, 467  
serventia, 404, 405, 406, 407, 409, 441  
SHRP, 32, 100, 102, 120, 123, 150, 229, 230  
silos frios, 377, 378  
silos quentes, 381, 382  
simuladores de laboratório, 317  
simuladores de tráfego, 321, 457, 458, 459  
sintético, 62, 134  
SMA, 161, 168, 169, 170, 171, 172, 249, 250, 251, 252  
sol, 30, 31  
solo arenoso fino laterítico, 354, 360  
solo-agregado, 358, 359  
solo-areia, 354, 359  
solo-brita descontínuo, 354, 359  
solo-cal, 352, 356, 364  
solo-cimento, 351, 352, 356, 363, 364  
sub-base, 9, 337, 339, 342, 352  
Superpave, 100, 103, 229, 232, 233, 236, 259  
susceptibilidade térmica, 41, 55, 56

## T

tamanho máximo, 120, 131, 230  
tamanho nominal máximo, 120, 164

teor de argila, 153  
teor de asfalto, 162, 221, 224, 226, 234  
teor de parafinas, 33, 58  
teor de sílica, 119  
termoplásticos, 62, 63, 64  
textura superficial, 140, 166, 435  
TFOT, 49, 50, 51  
tipos de ligantes asfálticos, 40, 41  
tipos de modificadores, 65  
tipos de rochas, 118  
transporte, 11, 12, 14, 18, 20, 384  
tratamento superficial duplo, 192, 263, 395  
tratamento superficial primário, 193, 195  
tratamento superficial simples, 192, 194, 196, 263, 400  
tratamento superficial triplo, 192, 263, 395  
tratamentos superficiais, 180, 191, 193, 194, 393  
triaxial com carregamento repetido, 317, 347, 348  
trincamento, 9, 230, 350, 361, 406, 445, 469  
trincamento por fadiga, 9, 150, 230, 315  
trincas, 311, 354, 356, 415, 417, 418, 425, 467, 469, 472, 473

## U

usina asfáltica por batelada, 374, 381, 382  
usina contínua, 383  
usina de asfalto, 374  
usina de produção, 374, 381, 382  
usina gravimétrica, 374, 381  
usinas asfálticas, 373, 379, 384

## V

valor de resistência à derrapagem, 172, 429, 430, 431  
valor de serventia atual, 404, 406  
vaso de envelhecimento sob pressão, 108  
vibroacabadora de esteiras, 388  
vibroacabadora de pneus, 387

vibroacabadoras, 387  
viga Benkelman, 346, 445, 446,  
447, 448, 449  
viscosidade absoluta, 44, 45  
viscosidade cinemática, 44, 45  
viscosidade rotacional, 47  
viscosímetro capilar, 44  
VPO, 28  
VRD, 430, 431

## **W**

WST, 270  
WTAT, 187, 197, 199, 269, 270

## **Z**

zona de restrição, 164, 230, 231

## ÍNDICE REMISSIVO DAS BIBLIOGRAFIAS

### A

- AASHTO (1986), 369  
AASHTO (1989) AASHTO T 283/89, 154  
AASHTO (1991) AASHTO T85, 154  
AASHTO (1993), 438  
AASHTO (1997) AASHTO T305, 281  
AASHTO (1999) AASHTO T104, 200  
AASHTO (1999) AASHTO T209, 281  
AASHTO (2000) AASHTO T166, 281  
AASHTO (2001) AASHTO D5821, 200  
AASHTO (2003) AASHTO T312, 281  
AASHTO (2003) AASHTO T319, 281  
AASHTO (2005) AASHTO MP8-01, 332  
AASHTO PP35, 281  
ABEDA (2001), 110  
ABINT (2004), 475  
ABNT (1989) NBR 6954, 154  
ABNT (1991) NBR 12261, 369  
ABNT (1991) NBR 12262, 369  
ABNT (1991) NBR 12265, 369  
ABNT (1992) NBR 12053, 369  
ABNT (1993) NBR 12891, 281  
ABNT (1994) NBR 13121, 110  
ABNT (1998) NBR 6576, 110  
ABNT (1998) NBR 9619, 110  
ABNT (1999) NBR 14249, 110  
ABNT (1999) NBR 14393, 110  
ABNT (1999) NBR 6299, 110  
ABNT (2000) NBR 14491, 110  
ABNT (2000) NBR 14594, 110  
ABNT (2000) NBR 6302, 110  
ABNT (2000) NBR 6560, 110  
ABNT (2000) NBR 6567, 110  
ABNT (2000) NBR 6569, 110  
ABNT (2000) NBR 6570, 110  
ABNT (2001) NBR 14736, 111  
ABNT (2001) NBR 14746, 200  
ABNT (2001) NBR 5847, 110  
ABNT (2001) NBR 6293, 110  
ABNT (2001) NBR 6300, 110  
ABNT (2003) NBR 6297, 111  
ABNT (2003) NBR NM 52, 154  
ABNT (2003) NBR NM 53, 154  
ABNT (2004) NBR 14896, 111  
ABNT (2004) NBR 15087, 281  
ABNT (2004) NBR 15115, 369  
ABNT (2004) NBR 15140, 281  
ABNT (2004) NBR 15166, 111  
ABNT (2004) NBR 15184, 111  
ABNT (2004) NBR 5765, 111  
ABNT (2005) NBR 9935, 154  
ABNT (2005) NBR 15235, 111  
ABNT (2005) NBR 6568, 111  
ABNT NBR 11341, 111  
ABNT NBR 11805, 369  
ABNT NBR 11806, 369  
ABNT NBR 14376, 110  
ABNT NBR 14756, 111  
ABNT NBR 14757, 200  
ABNT NBR 14758, 200  
ABNT NBR 14798, 200  
ABNT NBR 14841, 200  
ABNT NBR 14855, 111  
ABNT NBR 14948, 200  
ABNT NBR 14949, 200  
ABNT NBR 14950, 111  
ABNT NBR 6296, 111  
ABNT P-MB 326, 110  
ABNT P-MB 425/1970, 110  
ABNT P-MB 43/1965, 110  
ABNT P-MB 581/1971, 110  
ABNT P-MB 586/1971, 110  
ABNT P-MB 590/1971, 110  
ABNT P-MB 609/1971, 110  
ABNT P-MB 826/1973, 110  
ABNT (2002) NBR 14856, 111  
ABPv (1999), 438  
Adam, J-P. (1994), 24  
AFNOR (1991) AFNOR-NF-P-98-253-1, 332  
AFNOR (1991a), 332  
AFNOR (1993) AFNOR-NF-P-98-260-1, 332  
AIPCR (1999), 200  
Albernaz, C.A.V. (1997), 461  
Aldigueri, D.R., Silveira, M.A. e Soares, J.B. (2001), 281  
Allen, D. H. e Haisler, W. E. (1985), 332  
Alvarenga, J.C.A. (2001), 369  
Alvarez Neto, L. (1997), 461  
Alvarez Neto, L., Bernucci, L.L.B., Nogami, J.S. (1998), 461  
Amaral, S.C. (2004), 369  
ANP (1993), 281  
Antoszczem Jr, J.A. e Massaranduba, J.C.M. (2004), 402  
APRG (1997), 281  
Aps, M.; Bernucci, L.L.B.; Fabrício, J.M.; Fabrício, J.V.F.; Moura, E. (2004a), 438  
Aps, M.; Bernucci, L.L.B.; Fabrício, J.M.; Fabrício, J.V.F. (2004b), 438  
Aps, M.; Rodrigues Filho, O.S.; Bernucci, L.L.B.; Quintanilha, J.A. (2003), 438  
Asphalt Institute (1989), 154  
Asphalt Institute (1995), 154  
Asphalt Institute (1998), 402  
ASTM ( 2003b) ASTM E-1960, 438  
ASTM (1982) ASTM D4123, 332

- ASTM (1986) ASTM C496, 332  
 ASTM (1993) ASTM C 1252, 282  
 ASTM (1994) ASTM D5002, 282  
 ASTM (1995) ASTM D1856, 282  
 ASTM (1997) ASTM D5, 111  
 ASTM (1998) ASTM C702, 154  
 ASTM (1999) ASTM D4791, 154  
 ASTM (2000) ASTM D2041, 282  
 ASTM (2000) ASTM D2726, 282  
 ASTM (2000) ASTM D 1075-96, 154  
 ASTM (2000) ASTM D 4791-99, 282  
 ASTM (2000) ASTM D244, 111  
 ASTM (2000) ASTM D5840, 111  
 ASTM (2000) ASTM D5976, 111  
 ASTM (2000) ASTM D6521, 111  
 ASTM (2001) ASTM D2042, 111  
 ASTM (2001) ASTM D2170, 112  
 ASTM (2001) ASTM D2171, 112  
 ASTM (2001) ASTM D2172, 282  
 ASTM (2001) ASTM D4124, 112  
 ASTM (2001) ASTM D5581, 282  
 ASTM (2001) ASTM D5801, 112  
 ASTM (2001) ASTM D5841, 111  
 ASTM (2001) ASTM D6648, 112  
 ASTM (2001) ASTM E 965-96, 438  
 ASTM (2002) ASTM D 1754/97, 112  
 ASTM (2002) ASTM D1188, 282  
 ASTM (2002) ASTM D4402, 112  
 ASTM (2002) ASTM D6723, 112  
 ASTM (2002) ASTM D6816, 112  
 ASTM (2003) ASTM D3497-79, 332  
 ASTM (2003a) ASTM E 303-93 S, 438  
 ASTM (2004) ASTM D2872, 111  
 ASTM (2004) ASTM D6084, 112  
 ASTM (2004) ASTM D7175, 112  
 ASTM (2005) ASTM C 125, 154  
 ASTM C127, 154  
 ASTM C128, 282  
 ASTM D 113, 111  
 ASTM D 2007, 111  
 ASTM D 270, 111  
 ASTM D 36, 111  
 ASTM D 5329, 112  
 ASTM D 5858, 461  
 ASTM D 88, 111
- ASTM D 92, 112  
 ASTM D 95, 111  
 ASTM D4748-98, 461  
 ASTM E102, 112  
 ASTM(2002) ASTM D402, 112
- B**
- Balbo, J.T. (1993), 369  
 Balbo, J.T. (2000), 332  
 Barksdale (1971), 332  
 Beligni, M., Villibor, D.F. e Cincere, J.R. (2000), 200  
 Bely, L. (2001), 24  
 Benevides, S.A.S. (2000), 332  
 Benkelman, A.C.; Kingham, R.I. e Fang, H.Y. (1962), 369  
 Bernucci, L.L.B. (1995), 369  
 Bernucci, L.B.; Leite, L.M. e Moura, E. (2002), 332  
 Bertollo, S.A.M. (2003), 112  
 Bertollo, S.A.M., Bernucci, L.B., Fernandes, J.L. e Leite, L.M. (2003), 112  
 Bittencourt, E.R. (1958), 24  
 Bohong, J. (1989), 24  
 Bonfim, V. (2000), 200  
 Bonnaure, F., Gest, G., Gravois, A. e Uge, P. (1977), 332  
 Boscov, M.E.G. (1987), 369  
 Bottin Filho, I.A. (1997), 332  
 Bottura, E.J. (1998), 438  
 Brito, L.A.T (2006), 333  
 Brosseau, Y. (2002), 438  
 Brosseau, Y. (2002a), 200  
 Brosseau, Y. (2002b), 201  
 Brosseau, Y., Bogdanski, B., Carre, D., (2003), 201  
 Brosseau, Y., Delorme, J-L., Hiernaux, R.(1993), 201  
 Buchanan, M.S.; Brown, E.R. (2001), 282  
 Bukowski, J.R. (1997), 282
- C**
- Cabral, G.L.L. (2005), 154  
 Camacho, J. (2002), 369  
 Carey Jr., W.N. e Irick, P.E. (1960), 438  
 Carey Jr., W.N.; Huckins, H.C. e Leathers, R.C. (1962), 438  
 Carneiro, F.L. (1943), 333  
 Carneiro, F.B.L.(1965), 461  
 Carpenter, S.H.; K.A. Ghuzlan, e S. Shen (2003) , 333  
 Castelo Branco, V.T.F., Aragão, F.T.S. e Soares, J.B. (2004), 282  
 Castro Neto, A.M. (1996), 282  
 Castro Neto, A.M. (2000), 282  
 Castro, C.A.A. (2003), 112  
 Centro de Estudios de Carreteras (1986), 333  
 Ceratti, J.A.P. (1991), 369  
 Chevallier, R. (1976), 24  
 Christensen, R.M. (1982), 333  
 CNT (2004), 333  
 Coelho, W. e Sória, M.H.A. (1992), 282  
 COMITEE ON TROPICAL SOILS OF ISSMFE (1985), 369  
 Concer (1997), 24  
 Cordeiro, W.R. (2006), 201  
 Corté, J.-F. (2001), 201  
 Costa, C.A. (1986), 201  
 Croney, D. (1977), 438  
 Cundill, M.A. (1991), 438
- D**
- DAER/RS-EL 108/01, 282  
 Dama, M.A. (2003), 112  
 Daniel, J.S. e Y.R. Kim (2002), 333  
 Daniel, J.S. e Y.R. Kim e Lee, H.J. (1998), 333  
 DERBA (1985), 201  
 DER-BA ES P 23/00, 201  
 DER-PR (1991), 402  
 DER-SP (1991), 369  
 Dijk, W.V. (1975), 333  
 DNC (1993), 112  
 DNC 733/1997 (1997), 112  
 DNER (1979) DNER PRO-10/79, 461  
 DNER (1979) DNER PRO-11/79, 461  
 DNER (1985) DNER PRO-159/85, 461

DNER (1994), 112	DNER (1996), 113	DNER (1998), 113, 283
DNER (1994) DNER-ME 138/94, 333	DNER (1996) DNER-ME 193/96, 283	DNER (1998) DNER-ME 035/98, 155
DNER (1994) DNER-IE 006/94, 154	DNER (1996) DNER-PRO 199/96, 155	DNER (1998) DNER-ME 081/98, 155
DNER (1994) DNER-ME 053/94, 154	DNER (1996) DNER-PRO 273/96, 461	DNER (1998) DNER-ME 083/98, 155
DNER (1994) DNER-ME 061/94, 461	DNER (1997), 283, 402	DNER (1998) DNER-ME 096/98, 155
DNER (1994) DNER-ME 063/94, 112	DNER (1997) DNER ME 367/97, 155	DNER (1999) DNER-ES 386/99, 201
DNER (1994) DNER-ME 078/94, 154	DNER (1997) DNER-ES 308/97, 201	DNER (1999) DNER-ES 387/99, 201
DNER (1994) DNER-ME 086/94, 154	DNER (1997) DNER-ES 309/97, 201	DNER (1999) DNER-ES 388/99, 475
DNER (1994) DNER-ME 089/94, 154	DNER (1997) DNER-ES 310/97, 201	DNER (1999) DNER-ES 389/99, 202
DNER (1994) DNER-ME 093/94, 154	DNER (1997) DNER-ES 311/97, 201	DNER (1999) DNER-ES 390/99, 202
DNER (1994) DNER-ME 107/94, 282	DNER (1997) DNER-ES 312/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 382/99, 201
DNER (1994) DNER-ME 117/94, 282	DNER (1997) DNER-ES 313/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 383/99, 333
DNER (1994) DNER-ME 133/94, 333,	DNER (1997) DNER-ES 314/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 397/99, 155
DNER (1994) DNER-ME 222/94, 154	DNER (1997) DNER-ES 317/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 398/99, 155
DNER (1994) DNER-ME 24/94, 461	DNER (1997) DNER-ES 318/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 399/99, 155
DNER (1994) DNER-PRO 08/94, 438	DNER (1997) DNER-ES 319/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 400/99, 155
DNER (1994) DNER-PRO 269/94, 461	DNER (1997) DNER-ES 320/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 401/99, 155
DNER (1994a) DNER-PRO 164/94, 438	DNER (1997) DNER-ME 054/97, 155	DNIT (2003) DNIT 005-TER, 439
DNER (1994b) DNER ME 228/94, 370	DNER (1997) DNER-ME 153/97, 283	DNIT (2003) DNIT 006-PRO, 439
DNER (1994b) DNER-PRO 182/94, 438	DNER (1997) DNER-ME 197/97, 155	DNIT (2003c) DNIT 009-PRO, 439
DNER (1994c) DNER ME 256/94, 370	DNER (1997) DNER-PRO 120/97, 155	DNIT (2004) DNIT 031/04-ES, 155
DNER (1994c) DNER-PRO 229/94, 438	DNER (1997c) DNER ES 301/97, 370	DNIT (2005), 155
DNER (1994d) DNER ME 258/94, 370	DNER (1997d) DNER ES 303/97, 370	DNIT (2005) DNIT 034/05-ES, 202
DNER (1995) DNER-EM 035/95, 154	DNER (1997e) DNER ES 304/97, 370	DNIT (2005) DNIT 035/05-ES, 202
DNER (1995) DNER-ME 043/95, 282	DNER (1997f) DNER ES 305/97, 370	DNIT (2006), 370
DNER (1995) DNER-ME 084/95, 155	DNER (1997g) DNER ME 254/97, 370	DNIT(2005) DNIT 032/05-ES, 202
		DNIT(2005) DNIT 033/05-ES, 202

Duque Neto, F.S. (2004), 202  
Duque Neto, F.S., Motta, L.M.G. e  
Leite, L.F.M. (2004), 202

## E

EN 12591 (2000), 113  
EN 12593 (2000), 113  
EN 12697-5 (2002), 283  
Epps, J<sup>a</sup>., Sebaaly, P.E., Penaranda, J., Maher, M.R. Mccann, M.B. e Hand, A.J. (2000), 333  
Epps, J.A. e C.L. Monismith (1969), 333  
Espírito Santo, N.R. e Reis, R.M. (1994), 283

## F

Falcão, M.F.B. e Soares, J.B. (2002), 333  
Fernandes Jr., J.L. e Barbosa, R.E. (2000), 439  
Fernandes, C.G. (2004), 155  
Ferry, J.D. (1980), 333  
FHWA (1994), 283  
FHWA (1995), 283  
Finn, F.N., Monismith, C.L. e Makevich, N.J. (1983), 334  
Fonseca, O.A. (1995), 334  
Fortes, R.M. e Nogami, J.S. (1991), 370  
Francken, L.; Eustacchio, E.; Isacsson, U e Partl, M.N. (1997), 283  
Francken, L. e Partl, M.N. (1996), 334  
Fritzen, M.A (2005), 202

## G

GEIPOT (1981), 24, 439  
Ghuzlan, K.A. e Carpenter, S.H. (2000), 334  
Gillespie, T.D.; Sayers, M.W. e Segel, L. (1980), 439  
Girdler, R.B. (1965), 113  
Godoy, H. (1997), 370  
Godoy, H. ; e Bernucci, L.L.B. (2002), 370

Gonçalves, F.P., Ceratti, J.A.P. (1998), 461  
Gontijo, P.R.A. (1984), 402  
Goodrich, J.L. (1991), 334  
Gouveia, L.T. (2002), 155  
Guimarães, A.C.R. e Motta, L.M.G. (2000), 155

## H

Haas, R. Hudson, W.R e Zaniewski, J. (1994), 439  
Hafez, I.H. e Witczak, M.W. (1995), 283  
Hagen, V.W. (1955), 24  
Harman, T.; Bukowski, J.R.; Moutier, F.; Huber, G.; McGennis, R. (2002), 283  
Hawkes, I. e Mellor, M. (1970), 334  
Heide J.P.J. e J.C. Nicholls (2003), 283  
Henry, J. (2000), 439  
Heukelom, W. (1969), 113  
Hill, J.F. (1973), 334  
Hinrichsen, J. (2001), 283  
História das Rodovias (2004), 24  
Hondros, G. (1959), 334  
Huang, Y.H. (1993), 334  
Huang, Y.H. (2003), 461  
Hunter, R.N. (2000), 113  
Hveem, F. N (1955), 334  
Hveem, F. N.; Zube, E.; Bridges, R.; Forsyth, R. (1963), 113

## I

IA (Instituto do Asfalto, versão em português) (2001), 113  
IBP (1999), 113  
Instituto do Asfalto (1989), 283  
IPR (1998), 155  
ISSA (2001), 202  
ISSA (2005), 202  
ISSA (2005a), 202  
ISSA TB-100 (1990), 284  
ISSA TB-109 (1990), 284  
ISSA TB-114 (1990), 284  
ISSA TB-145 (1989), 283

## J

Jackson, N.M. e Czor, L.J. (2003), 284  
Jooste, F.J.; A. Taute; B.M.J.A. Verhaeeghe; A.T. Visser e O.A. Myburgh (2000), 284

## K

Kandhal, P.S. e Koehler, W.S. (1985), 284  
Kandhal, P.S. e Brown, E.R. (1990), 284  
Khandal, P. e Foo, K.Y. (1997), 284  
Kim, Y.R. e Y.C. Lee (1995), 334  
Kim, Y.R., H.J. Lee e D.N. Little (1997), 334  
Kim, Y.R.; D.N. Little e F.C. Benson (1990)", 334  
Kleyn, E. G. (1975), 370  
Klumb, R.H. (1872), 24

## L

Lama, R.D. e Vutukuri, V.S. (1978), 334  
Láo, V.L.E.S.T. (2004), 439  
Láo, V.L.E.S.T. e Motta, L.M.G. (2004), 439  
Larsen, J. (1985), 202  
LCPC (1976), 113  
LCPC (1989), 402  
Lee, H.J. e Kim, Y.R. (1998), 334  
Leite, L.F.M (1999), 113  
Leite, L.F.M (2003), 113  
Leite, L.F.M. & Tonial, I.A. (1994), 113  
Leite, L.F.M., Silva, P., Edel, G., Motta, L.M. e Nascimento L. (2003), 113  
Lentz, R.W. and Baladi, G.Y. (1980), 370  
Liberatori, L.A. (2000), 113  
Little, D.N.; R.L. Lytton; D. Williams e R.Y. Kim (1999)", 334  
Livneh, M (1989), 371  
Loureiro, T.G. (2003), 334  
Lovato, R.S. (2004), 371  
Love, A.E.H. (1944), 334  
Luong, M.P. (1990), 334

## M

Macêdo, J.A.G. (1996), 462  
Magalhães, S.T. (2004), 202  
Magalhães, S.T.; Motta, L.M.G e Leite, L.F.M. (2004), 202  
Malliagos, T.G. e Ferreira, C.P. (2006), 24  
Mamlouk, S.M. e Sarofim, R.T. (1988), 334  
Mano (1991), 113  
Mano, E.B. (1985), 113  
Margary, I. (1973), 24  
Marques, G.Lº. e Motta, L.M.G. (2006), 334  
Marques, G.L.O. (2001), 155  
Marques, G.L.O. (2004), 284  
Mascarenhas Neto, J.D. (1790), 24  
McDaniel, R. e Anderson, R.M. (2000), 284  
McDaniel, R. e Anderson, R.M. (2001), 284  
McGennis, R.B.; Anderson, R.M.; Perdomo, D.; Turner, P. (1996), 284  
Medina, J e Motta, L.M.G. (2005), 371  
Medina, J. (1997), 24  
Medina, J., Motta, L.M., Pinto, S. e Leite, L.M. (1992), 335  
Metso Minerals (2005), 156  
Meurer Filho, E. (2001), 335  
Monismith, C.L.; Seed, H.B.; Mitry, F.G.; Chan, C.K. (1967), 371  
Moreira, H.S. e Soares, J.B. (2002), 284  
Morilha Junior, A. & Trichês, G. (2003), 113  
Morilha Júnior, A.(2004), 113  
Motta, L.M.G. (1991), 335  
Motta, L.M.G. e Leite, L.F.M. (2000), 156  
Motta, L.M.G., Tonial, I., Leite, L. F. et al. (1996), 202  
Motta, L.M.G.; Medina, J.; Matos, M.V.M.; Vianna, A.A.D. (1990), 371  
Motta, L.M.G. (1998), 284  
Motta, R.S. (2005), 371  
Moura, E. (2001), 335

Mourão, F.A.L. (2003), 202  
Mouthrop, J.S. e Ballou, W.R. (1997), 285

## N

NAPA (1982), 285  
NAPA (1998), 402  
NAPA (1999), 203  
Nardi, J.V. (1988), 371  
Nascimento, L., Leite, L., Campos, E.F., Marques, G. e Motta, L. (2006), 335  
Nascimento, L., Leite, L., Láo, V.L.E.S.T e Jesus, G.F. (2005), 439  
NCHRP 9-12 (2000), 285  
NCHRP-285 (2204), 335  
Nóbrega, E.S. (2003), 462  
Nóbrega, E.S. e Motta, L.M.G. (2003), 462  
Nóbrega, E.S., Motta, L.M.G., Macedo, J.A.G. (2003), 462  
Nogami, J.S. e Villibor, D.F. (1981), 371  
Nogami, J.S.; Villibor, D.F. (1995), 156  
Núñez, W.P. (1997), 371

## O

Oda, S. (2000), 113  
Oliveira, C.G.M. (2003), 335

## P

Papazian, H.S. (1962), 335  
Park, S.W. e Kim, Y.R. (1998), 335  
Park, S.W., Kim, Y.R. e Schapery, R.A. (1996), 335  
Patriota, M.B (2004), 113  
Peralta, X., González, J.M., Torres, J. (2000), 203  
Phandnavis, D.G. e C.G. Swaminathan (1997), 335  
Pinheiro, J.H.M. (2004), 114  
Pinheiro, J.H.M. e Soares, J.B. (2004), 114  
Pinto, C.S. (2000), 156  
Pinto, I.E. (2002), 114

Pinto, S. (1991), 114  
Pinto, S. (1996), 285  
Pinto, S. (1998), 114  
Pinto, S. (2004), 285  
Pinto, S. e Preussler, E. (2002), 462  
Pinto, S., Guarçoni, D. e Chequer, C.J. (1998), 114  
Pinto, S., Preussler, E, e Farah, H. (1983), 114  
Porter, O.J. (1950), 371  
Prego, A.S.S. (1999), 114  
Prego, A.S.S. (2001), 24  
Preussler, E.S. (1983), 371  
Pronk, A.C. e Hopman, P.C. (1990), 335

## Q

Queiroz, C.A.V. (1984), 439

## R

Ramos, C.R., Salathé, J.E. e Martinho, F.G. (1993), 114  
Ramos, C.R et al (1995). Curso de ligantes asfálticos. IBP, 114  
Ribas, M.C. (2003), 24  
Ricci, E.; Vasconcelos, J. F.; Kraemer, J.L. (1983), 371  
Roberts, A. (1977), 335  
Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R., Lee, D-Y. e Kennedy, T.W. (1996), 156  
Roberts, F.L.; Mohammad, L.N.; Wang, L.B. (2002), 285  
Robinson, R. (1986), 439  
Rodrigues, R.M. (1991), 335  
Röhm, S.A. (1984), 371  
Rowe, G.M. (1993), 335  
Ruwer, P., Marcon, G., Morilha J.R.A. e Ceratti, J.A. (2001), 114

## S

Santana, H. (1978), 203  
Santana, H. (1992), 203  
Santana, H. (1993), 335  
Santos, C. (2003), 203  
Santos, J.D.G. (1998), 371

- Saunier, B.; Dolfus, C. e Geffroy, G. (1936), 24
- Sayers, M.W. e S.M. Karamihas (1998), 439
- Schapery, R.A. (1969), 336
- Schapery, R.A. (1974), 336
- Seed, H.B. and Chan, C.K. (1958), 372
- Seed, H.B.; Chan, C.K.; Lee, C. E. (1962), 372
- Seed, H.B.; Chan, C. K.; Monismith, C.L. (1955), 372
- Seed, H.B.; Mitry, F.G.; Monismith, C.L.; Chan, C.K. (1967), 372
- Serfass, J.P., Bauduin, A., Garnier J.F. (1992), 203
- SETRA e LCPC (1994), 203
- SETRA e LCPC (1998), 203
- SETRA (1997), 203
- Shell (2003), 114
- SHRP (1991), 114
- SHRP (1994a), 285
- SHRP (1994b), 285
- SILVA, P.D.E.A. (2001), 462
- Silva, P.B. (2005), 114
- Silveira, M.A. (1999), 285
- Soares, J.B. (2003) Notas de Aula UFC. Fortaleza – CE, 114
- Soares, J.B., Leite, L.M. Motta, L.M. e Branco, J.V.C. (1999), 285
- Soares, J.B., Motta, L.M. e Soares, R.F. (2000), 285
- Soares, J.B., Motta, L.M., Nóbrega, L.M., Leite, L.M., Paiva, J<sup>aa</sup>. e Nobre Jr, E.F. (1998), 285
- Solamianian, M., Harvey, J., Tahmoressi, M. e Tandon, V. (2004), 336
- Souza, F.V. (2005), 336
- Souza, F.V. e J. B. Soares (2003a), 336
- Souza, M.L. (1966), 372
- Souza, M.L. (1979), 372
- Souza, M.L. (1980), 372
- Souza, M.L.; Magalhães, J.P.; Silva, R.B.; Schlosser, R. (1977), 372
- Souza, R.O. (2002), 439
- Specht, L.P. (2004), 114
- Suzuki, C.Y. (1992), 372
- T**
- Taira, C. e Fabbri, G.T.P. (2001), 336
- Tayebali, A.A.; J.A. Deacon; J.S. Coplantz e C.L. Monismith (1993), 336
- Thuler, R.B. (2005), 203
- Timoshenko, S.P. e Goodier, J.N. (1951), 336
- Tonial, I.A. (2001), 114
- Tonial, I.A. e Bastos, A.C.R. (1995), 114
- Trichês, G. e Cardoso, A.B. (1999), 372
- Trichês, G.; Cardoso, A. B. (2001), 462
- Trichês, G.; Fontes, L.P.T.L.; Dal Pai, C.M. (2004), 462
- Tuchumantel Jr., O. (1990), 285
- V**
- Valkering, C.P., Lancon, D.J.L., Hilster, E.D. e Stoker, D.A. (1990), 336
- Vaniscotte, J.C. e Duff, M. (1978a), 285
- Vaniscotte, J.C. e Duff, M. (1978b), 285
- Vasconcelos, K.L. (2004), 285
- Vasconcelos, K.L., Soares, J.B. e Leite, L.M. (2003), 286
- Vertamatti, E. (1988), 372
- Viana, A.D. (2004), 336
- Villela e Marcon, (2001), 462
- Villibor, D.F. (1981), 372
- Von Quintus, H.L., J.A. Scherocman, C.S. Hughes e T.W. Kennedy (1991), 336
- W**
- Wang, J.N.; Kennedy, T.W. e McGennis, R.B. (2000), 286
- WAPA (2004), 156
- White, T.D. (1985), 286
- Whiteoak (1980), 286
- Whiteoak, D. (1990), 114
- Wild, O. (1992), 24
- Witczak, M.W. e Root, R.E. (1974), 336
- Woods, K.B. (1960), 156
- World Bank (1985), 439
- World Bank (2000), 439
- Y**
- Yen T. F (1991), 114
- Yildirim, Y.; Solaimanian, M.; McGennis, R.B. e Kennedy, T.W. (2000), 286
- Yoder, E. J. e Witczak, M.W. (1975), 336
- Zhang, W.; A. Drescher e D.E. Newcomb (1997), 336
- ZTV Asphalt (2001), 203

realização



**PETROBRAS**

**ASFALTOS**



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS  
DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS

